

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

**PRACE  
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI**

ROK XXII

ZESZYT 1(77)

WARSZAWA

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

## SPIS TREŚCI

<i>Daniel Józef Bem, Edward Żernicki</i> — Pomiar charakterystyki promieniowania i zysku energetycznego anten krótkofalowych . . . . .	3
<i>Daniel Józef Bem, Tadeusz Surma</i> — Obliczanie natężenia pola fali powierzchniowej przy użyciu programu „ground wave” . . . . .	29
<i>Jan Bogucki</i> — Układ odbiorczy do badań propagacji troposferycznej na trasach poza-horyzontalnych . . . . .	40

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Д.Ю. Бём, Е. Жёрниcki</i> — Измерения диаграммы направленности и коэффициента усиления коротковолновых антенн . . . . .	3
<i>Д. Ю. Бём, Т. Сурма</i> — Расчет напряженности поля поверхностной волны с помощью счетно-решающего прибора на основании программы вычислений „ground wave” . . . . .	29
<i>Я. Богущки</i> — Схема для испытания тропосферной пропагации на трассах транс-горизонтной дальности . . . . .	40

## CONTENTS

<i>D.J. Bem, E. Żernicki</i> — Measurements of short wave aerials radiation patterns and power gain . . . . .	3
<i>D.J. Bem, T. Surma</i> — Calculation of ground wave field intensity by means of a computer and applying the „ground wave” program . . . . .	29
<i>J. Bogucki</i> — A device for measuring tropospherical propagation in transhorizontal range . . . . .	40

## SOMMAIRE

<i>D.J. Bem, E. Żernicki</i> — Mesures du diagramme de rayonnement et du gain des antennes a ondes courtes . . . . .	3
<i>D.J. Bem, T. Surma</i> — Calcul de l'intensité du champ de l'onde de surface au moyen d'un ordinateur et du programme nomme „ground wave” . . . . .	29
<i>J. Bogucki</i> — Scheme du dispositif a mesurer la propagation tropospherique sur les traces transhorizontaux . . . . .	40

## INHALTSVERZEICHNIS

<i>D.J. Bem, E. Żernicki</i> — Messung des Strahlungsdiagramms und Gewinns der Kurzwellen-antennen . . . . .	3
<i>D.J. Bem, T. Surma</i> — Berechnung der Feldstärke der Bodenwelle mittels elektronischer Rechenmaschine bei Verwendung des Programms „ground wave” . . . . .	29
<i>J. Bogucki</i> — Schema der Einrichtung zur Prüfung der troposphärischen Ausbreitung auf Überhorizontstrecken . . . . .	40

---

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

PRACE  
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XXII

ZESZYT 1(77)

WARSZAWA  

---

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

---

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny — prof. mgr inż. *Lesław Kędzierski*

Redaktorzy działów:

adj. mgr inż. *Aleksy Brodowski*, doc. mgr inż. *Władysław Cetner*,  
doc. mgr inż. *Jerzy Wójcikiewicz*

Adres Redakcji

Instytut Łączności, 04-894 Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

*Printed in Poland*

Opracowano w Dziale Wydawniczym Instytutu Łączności

621.396.67.08

*Daniel Józef Bem  
Edward Żernicki*

## **POMIAR CHARAKTERYSTYKI PROMIENIOWANIA I ZYSKU ENERGETYCZNEGO ANTEN KRÓTKOFALOWYCH**

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 16.XII.1974 r.

W pracy opisano metodę pomiaru zysku energetycznego i charakterystyk promieniowania anten krótkofalowych przy zastosowaniu pola wzorcowego, wytwarzanego przez antenę ramową umieszczoną na śmigłowcu. Opisano również metodę potrzebnej do tego celu nawigacji przy użyciu radiolatarni. Podano przykładowo wyniki pomiaru kilku anten. Dokładność pomiaru zysku energetycznego wynosi  $\pm 1,5$  dB, a dokładność pomiaru charakterystyki promieniowania  $\pm 0,6$  dB.

### **1. WSTĘP**

W radiokomunikacji i radiofonii krótkofalowej stosuje się na ogół anteny kierunkowe o dużym zysku energetycznym zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej. Parametry anten krótkofalowych w znacznym stopniu zależą od przewodności właściwej (konduktywności) i przenikalności elektrycznej gruntu w otoczeniu anteny. Pewien wpływ ma również konfiguracja terenu oraz obecność innych anten, zwykle bowiem anteny są budowane na wspólnym polu antenowym. Wpływ wymienionych czynników powoduje, że precyzyjne określenie charakterystyki promieniowania i zysku energetycznego anteny krótkofalowej metodami teoretycznymi lub za pomocą badań modelowych jest znacznie utrudnione, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwe. Konieczne jest więc wykonanie pomiaru parametrów anteny bezpośrednio na polu antenowym. Nie można przy tym ograniczyć się tylko do pomiaru charakterystyki promieniowania. Sprawność anten krótkofalowych, wskutek rzeczywistych warunków lokalnych, może być niekiedy znacznie zmniejszona i dla-

tego równocześnie z pomiarem charakterystyki promieniowania powinno się mierzyć zysk energetyczny anteny.

Pomiar charakterystyki promieniowania i zysku energetycznego anteny w miejscu jej pracy jest możliwy tylko przy zastosowaniu unoszącego się w powietrzu obiektu pomiarowego, np. śmigłowca. Pomiary tego typu były już opisane [1,2,3,4], dotychczas nie były jednak wykonywane w kraju.

Jednoczesny pomiar charakterystyki promieniowania i zysku energetycznego jest możliwy przez wytworzenie na powierzchni ziemi pola wzorcowego, za pomocą urządzeń umieszczonych na pokładzie śmigłowca. Istotną sprawą jest dokładne określenie położenia śmigłowca w przestrzeni. Zadanie to jest łatwe, jeśli są dostępne precyzyjne systemy nawigacyjne (np. hiperboliczne). W przeciwnym przypadku konieczne jest opracowanie zastępczych metod nawigacji.

## 2. POLE WZORCOWE

### 2.1. Zależności teoretyczne

Umieścimy początek układu współrzędnych w środku badanej anteny, o wektorowej wysokości skutecznej  $I_A$ . W punkcie  $M$ , w odpowiednio dużej odległości od badanej anteny znajduje się antena pomocnicza o wysokości skutecznej  $I_p$  (rys. 1).

Natężenie pola elektrycznego, wytwarzanego przez badaną antenę w obszarze promieniowania, wyraża się zależnością

$$E_A = E_0[I_A - (I_R \cdot I_A) I_R] \quad (1)$$

w której:

$E_0$  — współczynnik proporcjonalności,

$I_A$  — wektor jednostkowy równoległy do wektora  $I_A$ ,

$I_R$  — wektor jednostkowy wzdłuż promienia  $R$ .

Miedzy anteną badaną a anteną pomocniczą powinno zachodzić dopasowanie polaryzacyjne, to znaczy, że współczynnik dopasowania polaryzacyjnego musi być równy jedności, mamy więc [5]

$$\frac{E_A \cdot I_p}{|E_A| \cdot |I_p|} = 1 \quad (2)$$

Wprowadzając oznaczenia:

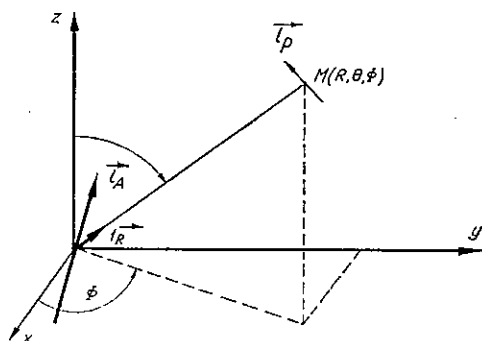
$$\frac{E_A}{|E_A|} = \frac{I_A - (I_R \cdot I_A) I_R}{|I_A| - (I_R \cdot I_A) I_R} = I_E \quad (3)$$

$$\frac{I_p}{|I_p|} = I_p \quad (4)$$

otrzymujemy zamiast równania (2) następujące równanie

$$\mathbf{I}_E \cdot \mathbf{I}_p = I \quad (5)$$

z którego wynika, że wektory  $\mathbf{I}_E$  i  $\mathbf{I}_p$  muszą być równoległe, a więc wektor wysokości skutecznej anteny pomocniczej  $\mathbf{I}_p$  musi być prostopadły do promienia  $\mathbf{R}$  i musi leżeć w płaszczyźnie wyznaczonej przez wektory  $\mathbf{I}_A$  i  $\mathbf{R}$ .



Rys. 1. Rysunek pomocniczy do określenia dopasowania polaryzacyjnego

W charakterze anteny pomocniczej można użyć krótkiego dipola elektrycznego lub małej, jednozwojowej anteny ramowej (dipol magnetyczny). W przypadku zastosowania dipola elektrycznego wektor  $\mathbf{I}_p$  określa jego orientację. Jeśli antena pomocnicza jest anteną ramową, to wówczas zachodzi związek

$$\mathbf{I}_p \cdot \mathbf{I}_n = 0 \quad (6)$$

przy czym  $\mathbf{I}_n$  jest wektorem jednostkowym normalnym do płaszczyzny ramy. Korzystając z równości  $\mathbf{I}_p = \mathbf{I}_E$  otrzymujemy

$$[\mathbf{I}_A - (\mathbf{I}_R \cdot \mathbf{I}_A) \mathbf{I}_R] \cdot \mathbf{I}_n = 0 \quad (7)$$

Jeśli równanie (7) ma być spełnione dla dowolnych położów wektora  $\mathbf{I}_R$ , to musi być

$$\mathbf{I}_A \cdot \mathbf{I}_n = 0 \quad \text{ i } \quad \mathbf{I}_R \cdot \mathbf{I}_n = 0 \quad (8)$$

Wektor  $\mathbf{I}_n$  musi więc być prostopadły do płaszczyzny wyznaczonej przez wektory  $\mathbf{I}_A$  i  $\mathbf{I}_R$ .

W szczególnym przypadku, gdy wektor  $\mathbf{R}$  jest prostopadły do wektora  $\mathbf{I}_A$ , dla spełnienia równania (7) wystarczy, aby

$$\mathbf{I}_A \cdot \mathbf{I}_n = 0 \quad (9)$$

czyli aby wektor  $\mathbf{I}_A$  był równoległy do płaszczyzny ramy.

Zgodnie z zasadą wzajemności charakterystyka promieniowania i zysk energetyczny anteny są takie same bez względu na to, czy badana antena pracuje jako antena nadawcza, czy też jako antena odbiorcza. Można więc źródło pola wzorcowego umieścić na ruchomym obiekcie (śmigłowcu) i mierzyć napięcie indukowane w badanej antenie.

Ze względu na łatwość cechowania wygodnie jest jako źródło pola wzorcowego

zastosować małą, jednozwojową antenę ramową. Pole wytwarzane w obszarze promieniowania przez taką antenę wyraża się zależnością

$$E = \frac{\pi \zeta_0 I S}{\lambda^2} \frac{e^{-jkR}}{R} (I_R \times I_n) \quad (10)$$

w której:

$\zeta_0$  — impedancja falowa swobodnej przestrzeni,

$I$  — prąd płynący przez ramę,

$S$  — powierzchnia ramy,

$\lambda$  — długość fali,

$k = 2\pi/\lambda$  — stała propagacji w swobodnej przestrzeni.

Zgodnie z warunkiem (8), ustawienie anteny ramowej zależy od polaryzacji anteny badanej. Spełnienie warunku (8) zapewnia jednocześnie niezależność natężenia pola wzorcowego w otoczeniu badanej anteny od współrzędnych  $\theta$  i  $\Phi$ .

## 2.2. Konstrukcja anteny pomocniczej

W celu efektywnego wykorzystania anteny ramowej powierzchnia jej powinna być możliwie duża. Z drugiej strony wzór (10) jest słuszny pod warunkiem, że amplituda i faza prądu wzdłuż anteny są stałe. O nierówności rozkładu prądu wzdłuż anteny decyduje stosunek natężenia prądu płynącego przez zaciski wejściowe do średniego natężenia prądu, określony następującą zależnością przybliżoną (gdzie  $L$  oznacza obwód anteny)

$$\frac{I_0}{I_{sr}} \approx \frac{\frac{\pi L}{\lambda}}{\lg \frac{\pi L}{\lambda}} \quad (11)$$

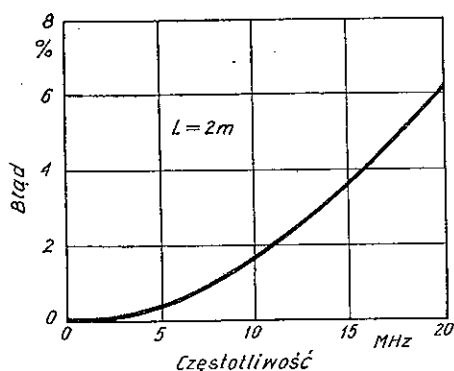
Mając powyższe na uwadze wybrano średnicę anteny równą 0,64 m (obwód anteny — 2 m). Na rysunku 2 pokazano zależność błędu spowodowanego nierównomiernym rozkładem prądu od częstotliwości dla anteny ramowej o obwodzie równym 2 m. Z przedstawionego wykresu wynika, że przy częstotliwościach mniejszych niż 12 MHz błąd spowodowany nierównomiernością rozkładu prądu nie przekracza 2%.

Niech  $E_j$  oznacza maksymalną wartość natężenia pola wytwarzanego w odległości 1 km przez antenę ramową, w której płynie prąd 1 A. Wartość  $E_j$  jest wygodnym parametrem określającym antenę ramową. Korzystając ze wzoru (10) oraz wyrażając  $E_j$  w decybelach względem  $1\mu\text{V/m}$  otrzymuje się

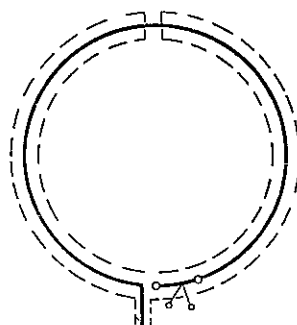
$$E_j = 119,4 + 40 \lg \frac{D}{\lambda} \quad (12)$$

przy czym  $D$  jest średnicą ramy.





Rys. 2. Zależność błędu spowodowanego nierównomiernością rozkładu prądu wzdłuż anteny ramowej od częstotliwości



Rys. 3. Schemat anteny pomocniczej

Znając  $E_j$  łatwo można określić natężenie pola w dowolnej odległości i dla dowolnej wartości prądu w antenie

$$E = E_j + 20 \lg I - 20 \lg R \quad (13)$$

przy czym:  $R$  — odległość w km;  $I$  — natężenie prądu w A.

Wartości parametru  $E_j$  dla anteny o średnicy 0,64 m podano w tablicy 1.

Tablica 1

Natężenie pola wytwarzane w odległości 1 km przez antenę ramową o średnicy 0,64 m, w której płynie prąd 1 A

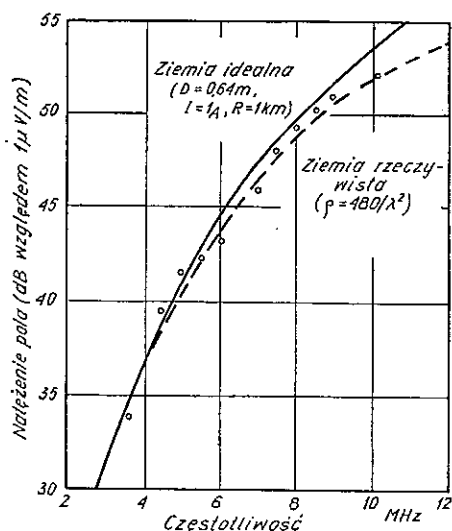
$f[\text{MHz}]$	2	4	6	8	10	12	14
$D/\lambda$	$6,294 \cdot 10^{-4}$	$9,315 \cdot 10^{-4}$	$1,072 \cdot 10^{-3}$	$2,330 \cdot 10^{-3}$	$3,284 \cdot 10^{-3}$	$4,082 \cdot 10^{-3}$	$4,742 \cdot 10^{-3}$
$E_j [\text{dB}\mu]$	24,5	36,7	44,6	49,9	53,8	56,9	59,5

W celu uniknięcia zjawiska antenowego rama musi być starannie wysymetryzowana lub zaekranowana. Mając na uwadze możliwość zasilania anteny za pomocą kabla współosiowego, wybrano tę drugą możliwość. Do pomiaru prądu w antenie zastosowano amperomierz termoelektryczny. Schemat anteny pomocniczej przedstawiono na rys. 3.

Ekran anteny [6], stanowiący jednocześnie konstrukcję nośną, składa się z dwóch pierścieni ze stopu aluminium o średnicy 600 mm i szerokości 40 mm. W pierścieniach tych wyfrezowano rowki, tworzące po złożeniu pierścieni kanał o średnicy 21 mm,

w którym umieszczono przewód tworzący antenę, wykonany z rurki miedzianej o średnicy 10 mm. Przewód od ekranu odizolowano za pomocą krążków teflonowych. Pierścienie są skręcone ze sobą za pomocą śrub rozmieszczonych na obwodzie. W jednym miejscu w ekranie anteny wykonano szczelinę, w której umieszczono izolator uniemożliwiający przepływ prądu wzdłuż ekranu. Naprzeciw izolatora umieszczono głowicę zawierającą gniazdo współosiowe, umożliwiające dołączenie toru zasilającego, oraz gniazdo symetryczne do podłączenia miliwoltomierza. Głowica umożliwia również zamocowanie anteny do uchwytu zainstalowanego na śmigłowcu.

W celu sprawdzenia poprawności konstrukcji anteny pomocniczej wykonano pomiar wytwarzanego przez nią natężenia pola. Pomiar przeprowadzono na terenie lotniska. Odległość między badaną anteną a miernikiem natężenia pola wynosiła 550 m. Dokładność cechowania miernika  $\pm 1$  dB. Wyniki pomiaru sprawdzone do odległości 1 km i prądu 1 A przedstawiono na rys. 4. Wynik sprawdzenia można uznać za zadowalający.



Rys. 4. Porównanie obliczonych i zmierzonych wartości natężenia pola wytwarzanego przez antenę pomocniczą

— wartości obliczone; oooooo wartości zmierzone

### 2.3. Źródło mocy wielkiej częstotliwości

W celu zapewnienia dostatecznej dynamiki pomiaru charakterystyk promieniowania natężenie pola wzorcowego w otoczeniu badanej anteny nie powinno być mniejsze niż 30 dBμ. Najtrudniejsze warunki występują dla najdłuższej fali. Przyjmując maksymalną odległość pomiarową  $R = 4$  km, otrzymuje się ze wzoru (13) dla częstotliwości 2 MHz  $I = 7,5$  A.

Ze względu na brak dopasowania anteny do toru zasilającego oraz straty energii w antenie i w torze, oszacowano niezbędną moc generatora wielkiej częstotliwości na 100 W. Jako generatora mocy użyto adaptowanej radiostacji lotniczej RSB-5.

### 3. ŚMIGŁOWIEC

Dla przeprowadzenia pomiarów charakterystyk promieniowania potrzebny jest śmigłowiec o odpowiednim udźwigu, z dużą możliwością manewrowania, dużą siłą ciągu, stabilnością lotu, odpornością na wiatr itp. Proponuje się wykorzystanie do tego celu śmigłowca produkcji krajowej SM-1 lub Mi-2.

#### 3.1. Śmigłowiec SM-1

Śmigłowiec SM-1 (rys. 5) jest śmigłowcem jednowirnikowym napędzanym silnikiem tłokowym o mocy 450 KM. Podstawowe parametry techniczne śmigłowca SM-1 są następujące:



Rys. 5. Śmigłowiec SM-1

— długość śmigłowca z obracającym się wirnikiem	17 m
— wysokość	3 m
— średnica wirnika nośnego	14,3 m
— średnica śmigła ogonowego	2,5 m
— ciężar śmigłowca	2400 kG

— udźwig	495 kG
— pułap	3000 m
— prędkość maksymalna	165 km/h
— zasięg ze zbiornikiem dodatkowym	580 km
— liczba miejsc (wraz z pilotem)	3
— lot w zawisie	0—10 m i 200—3000m
— załoga	pilot+mechanik pokładowy
— prędkość opadania przy autorotacji	7 m/s

### 3.2. Śmigłowiec Mi-2

Śmigłowiec Mi-2 (rys. 6) jest śmigłowcem jednowirnikowym napędzanym dwoma silnikami turbinowymi o mocy 400 KM każdy. Śmigłowiec jest wyposażony w zewnętrzne urządzenia umożliwiające przewóz podwieszonego ciężaru do 700 kg oraz dźwig o nośności 120 kg.



Rys. 6. Śmigłowiec Mi-2

Podstawowe dane techniczne śmigłowca Mi-2 są następujące:

— średnica wirnika nośnego	14,5 m
— liczba łopat wirnika	3
— średnica śmigła ogonowego	2,7 m
— długość kadłuba	11,87 m
— wysokość	3,75 m
— ciężar całkowity	3350 kG
— udźwig	700 kG

— prędkość maksymalna	210 km/h
— pułap	4000 m
— zasięg (w zależności od obciążenia)	190—680 km
— załoga	pilot + mechanik pokładowy
— prędkość opadania przy autorotacji	8 m/s

### 3.3. Adaptacja śmigłowca<sup>1)</sup>

Śmigłowiec do celów pomiarowych należy wyposażać dodatkowo w następujące urządzenia:

- 1) drugi radiokompas, typu ARK-9 ze wskaźnikami kursu nawigatora,
- 2) radiotelefon FM 3001 z przystosowaniem do pracy z dwóch hełmofonów (pilot i technik obsługi),
- 3) szybko działający barograficzny wskaźnik wysokości,
- 4) pomiarową antenę ramową,
- 5) generator mocy w.cz.



Rys. 7. Ustawianie anteny pomocniczej w pozycji pomiarowej

<sup>1)</sup> Wszelkie prace adaptacyjne na statkach latających mogą być przeprowadzane tylko za zgodą inspektora kontroli cywilnych statków powietrznych i wykonane przez personel posiadający odpowiednie licencje.

### 3.3.1. Instalacja anteny pomiarowej na śmigłowcu SM-1

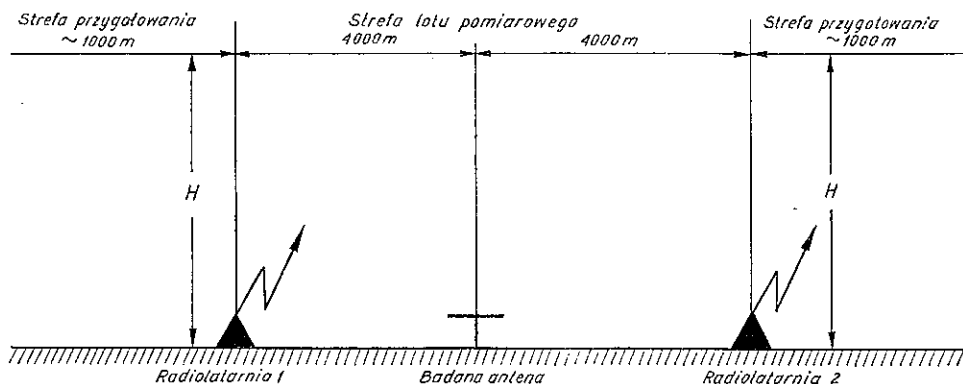
Antenę instaluje się pod śmigłowcem na konstrukcji wsporczej, umożliwiającej opuszczanie anteny do pozycji pionowej po starcie oraz zamknięcie anteny pod belką ogonową śmigłowca w czasie lądowania. Umieszczenie anteny na konstrukcji połączonej ze śmigłowcem przez przeguby kulowe jest podyktowane również względami bezpieczeństwa. W wypadku awaryjnego lądowania antena po zetknięciu z ziemią zamknie się. Antena jest otwierana i zamykana z wnętrza śmigłowca za pomocą linek nylonowych przełożonych przez krążki (rys. 7).

## 4. METODA NAWIGACJI

Wymagana dokładność pomiaru charakterystyk i zysku energetycznego anten zakresu krótkofalowego narzuca ostry rygor w zakresie dokładnego określenia położenia śmigłowca w czasie wykonywania pomiarów. Lot musi się odbywać po tzw. trajektorii kontrolowanej. Optymalnym sposobem jest lot według kursografu w oparciu o hiperboliczny system nawigacyjny. Brak możliwości korzystania na obszarze kraju z tego typu systemu nawigacyjnego zmusza do stosowania metod zastępczych, leżących w zakresie możliwości technicznych organizatora pomiarów.

### 4.1. Lot po prostej za pomocą dwóch radiolatarni

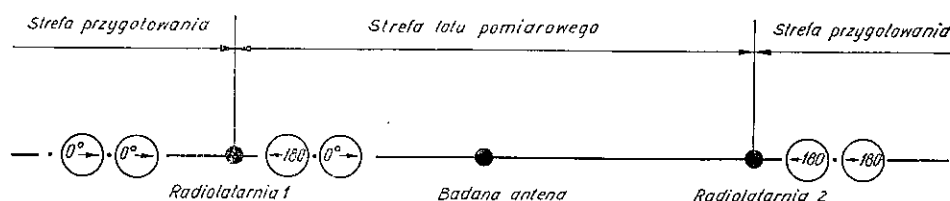
Kontrolowany lot po linii prostej jest możliwy do zrealizowania za pomocą dwóch radiolatarni NDB<sup>1)</sup> oraz dwóch radiokomпасów. Radiolatarnie należy rozmieścić w sposób pokazany na rys. 8. W strefie przygotowania pilot wchodzi



Rys. 8. Kolejne fazy lotu po prostej za pomocą dwóch radiolatarni

<sup>1)</sup> NDB — nondirectional (radio) beacon.

na właściwą wysokość i koryguje kierunek lotu tak, żeby znaleźć się dokładnie na linii lotu pomiarowego (prosta łącząca radiolatarnię nr 1 i radiolatarnię nr 2). Każde odchylenie od wymaganego kierunku jest widoczne na wskaźnikach kursu, wycechowanych w stopniach (od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ ). Po znalezieniu się na wymaganej linii lotu, pilot utrzymuje tzw. kurs „zerowy”. W tym przypadku obydwa wskaźniki kursu wskazują  $0^\circ$  (rys. 9).



Rys. 9. Wskazania wskaźników kursu w czasie lotu pomiarowego według KKR

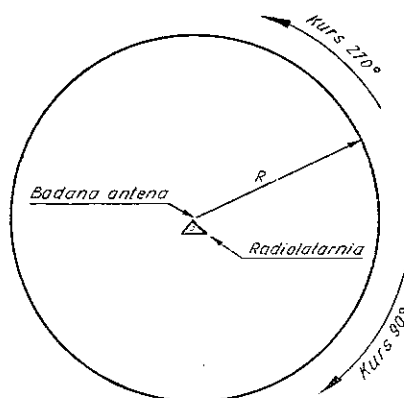
W momencie przelotu nad radiolatarnią nr 1 wskaźnik kursu nr 1 z wartości  $0^\circ$  przejdzie na wartość  $180^\circ$ . Jednocześnie pilot słowem „start” podaje przez radiotelefon informację dla obsługi naziemnej, oznaczającą początek pomiaru. Pilot w dalszym ciągu kontroluje tor lotu za pomocą wskaźnika kursu nr 1, który przez cały czas powinien wskazywać  $180^\circ$ , oraz wskaźnika kursu nr 2, który wskazuje  $0^\circ$ . Przy przelocie śmigłowca nad radiolatarnią nr 2 wskaźnik kursu nr 2 przechodzi z  $0^\circ$  na  $180^\circ$ . Pilot przekazuje wówczas przez radiotelefon informację „stop”.

Praktyczne próby lotów po linii prostej według kątów kursowych radiolatarni KKR dały pozytywne rezultaty. Dokładność lotu wynosi  $\pm 3^\circ$ , co w pełni wystarcza do pomiaru charakterystyki promieniowania.

#### 4.2. Lot po okręgu za pomocą jednej radiolatarni

Lot kontrolowany po okręgu jest zadaniem znacznie trudniejszym. Musi go wykonywać pilot o dużym doświadczeniu i przy sprzyjających warunkach atmosferycznych. Jako środki nawigacyjne wykorzystuje się jedną radiolatarnię zainstalowaną obok badanej anteny, radiokompas i zakrętomierz. Na wyznaczony okrąg pilot podchodzi w miejscu łatwym do identyfikacji na planie terenu. Przy locie po okręgu w prawo (badana antena zawsze znajduje się z prawej strony) wskaźnik kursu powinien wskazywać  $90^\circ$ , natomiast przy locie w lewo — wskaźnik kursu wskazuje  $270^\circ$  (rys.10). W zależności od wyznaczonego promienia lotu, zakrętomierz powinien wskazywać stałą wartość przez cały czas lotu po okręgu. Z chwilą gdy śmigłowiec znajdzie się w punkcie wyznaczonym jako początek pomiarów, pilot hasłem „start” przekazuje informację dla obsługi naziemnej oznaczającą początek pomiaru. Jeśli technika lotu jest poprawna, śmigłowiec po wykonaniu pełnego obrotu powinien

się znaleźć w punkcie początkowym. Dokładność lotu w dużej mierze zależy od warunków atmosferycznych. Dużą dokładność można uzyskać tylko przy bezwietrznej pogodzie.



Rys. 10.

Lot po okręgu za pomocą jednej radiolaterni

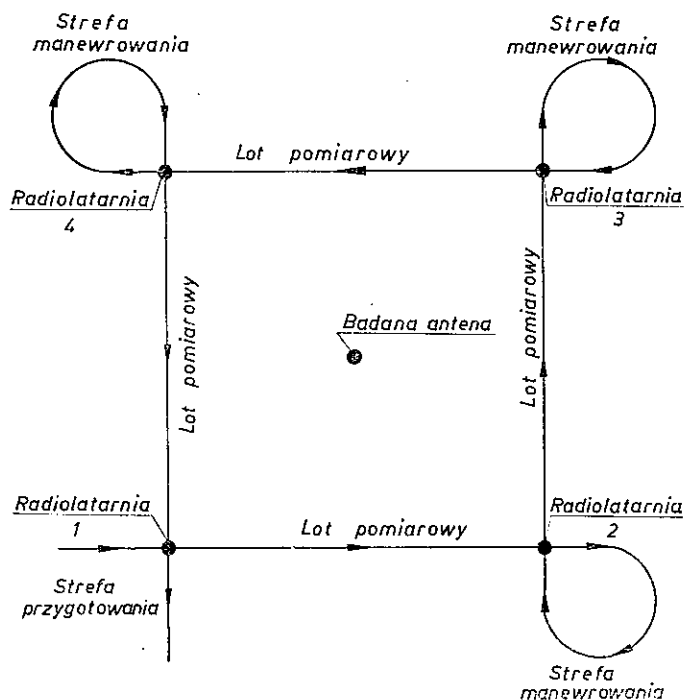
#### 4.3. Lot po kwadracie za pomocą czterech radiolaterni

Opisany w p. 4.2. lot po okręgu jest bardzo korzystny ze względu na pomiar charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie poziomej. Dokładność lotu po okręgu przy użyciu jednej radiolaterni nie jest jednak wystarczająca do precyzyjnych pomiarów. Lot ten może mieć znaczenie jedynie przy wstępnym określaniu właściwości kierunkowych anteny. Z tego względu proponuje się zastąpienie lotu po okręgu lotem po kwadracie. Lot po kwadracie nie spełnia warunku stałej odległości anteny pomocniczej od anteny badanej, odpowiednie poprawki nietrudno jednak obliczyć, natomiast sam lot może być wykonany z dużą dokładnością.

Lot po kwadracie za pomocą czterech radiolaterni składa się z czterech lotów po prostej, opisanych w p. 4.1. Radiolaternie rozmieszcza się w wierzchołkach kwadratu, w środku którego znajduje się badana antena<sup>1)</sup>. W strefie przygotowania (rys. 11) pilot wprowadza śmigłowiec na właściwą wysokość i ustala kierunek lotu tak, żeby znaleźć się na prostej, łączącej radiolaternię 1 i radiolaternię 2, a następnie kontynuuje lot wzdłuż tej prostej. W momencie przelatywania nad radiolaternią 1 pilot podaje sygnał „start 1”. Po zakończeniu lotu wzdłuż odcinka 1—2 (przelot nad radiolaternią 2) pilot podaje sygnał „stop 1” i przechodzi do strefy manewrowania, w której ustala kierunek lotu wzdłuż prostej wyznaczonej przez radiolaternie 2 i 3.

<sup>1)</sup> Zasadniczo radiolaternie mogą być umieszczone na wierzchołkach dowolnego wieloboku. Położenie badanej anteny wewnątrz wieloboku jest również dowolne. Wielobok foremny z anteną umieszczoną w jego środku stanowi najlepszą aproksymację koła. Stopień przybliżenia wzrasta przy tym w miarę zwiększenia liczby boków wieloboku. Kwadrat jest rozwiązaniem kompromisowym ze względu na dokładność aproksymacji i niezbędną liczbę radiolaterni.





Rys. 11. Lot po kwadracie za pomocą czterech radiolaterni

W tym celu konieczne jest przestrojenie jednego radiokompasu z radiolaterni 1 na radiolaternię 3. Przelot nad radiolaternią 2 pilot sygnalizuje hasłem „start 2”, a nad radiolaternią 3 — hasłem „stop 2”. W podobny sposób wykonuje się przeloty wzdłuż następnych boków kwadratu.

#### 4.4. Wysokość lotu

W strefie lotu pomiarowego ustalona wysokość lotu powinna być zachowana z dokładnością  $\pm 5\text{m}$ . Do kontroli wysokości lotu stosuje się precyzyjny, szybko działający wysokościomierz barograficzny.

#### 4.5. Pomiar azymutu i kąta elewacji

Do pomiaru kąta elewacji w locie po prostej i azymutu w locie po okręgu lub kwadracie zastosowano precyzyjną lornetę lotniczą z celownikiem. Lorneta jest umieszczona na statywie i wyposażona w skalę do pomiaru kątów w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Śledzenie lotu śmigłowca odbywa się ręcznie, natomiast za-

pis kąta — automatycznie. W tym celu z osiami lornety sprzężono mechanicznie precyzyjne potencjometry. Każdy z potencjometrów może być włączony, jako jedna z gałęzi, do układu mostkowego. Napięcie z jednej przekątnej mostka służy do wysterowania osi  $X$  rejestratora  $X$ - $Y$ .

## 5. DOBÓR ODLEGŁOŚCI POMIAROWEJ

Przy pomiarach charakterystyk promieniowania i zysku energetycznego anten musi być spełniony warunek minimalnej odległości między anteną badaną a anteną pomocniczą. Dla anten o dużej kierunkowości minimalną odległość pomiarową wyznacza się ze wzoru

$$R_{\min} = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (14)$$

w którym  $L$  jest największym rozmiarem badanej anteny. W przypadku anten o małej kierunkowości:

$$R_{\min} = \lambda \quad \text{jeśli} \quad L \leq \frac{\lambda}{2} \quad (15a)$$

lub

$$R_{\min} = 2L \quad \text{jeśli} \quad \frac{\lambda}{2} < L \leq \lambda \quad (15b)$$

Maksymalna odległość jest ograniczona dysponowaną mocą generatora wielkiej częstotliwości oraz przyjętą metodą nawigacji (śmigłowiec musi być widoczny przez lornetę). Należy podkreślić, że zwiększenie odległości pomiarowej powoduje zmniejszenie wymagań dotyczących precyzji nawigacji.

W obszarze promieniowania natężenie pola maleje odwrotnie proporcjonalnie do odległości, jeśli więc dopuścimy błąd pomiaru spowodowany błędem nawigacji równy 0,2 dB, to odległość między antenami musi być określona z dokładnością do  $\pm 0,025 R$ . Biorąc powyższe pod uwagę zaleca się wykonywanie pomiarów w odległości 2 do 3 km. Dokładność lotu musi wówczas wynosić  $\pm (50 \dots 75)$  m, co przy opisanych wyżej metodach nawigacji jest do osiągnięcia.

## 6. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Pomiar charakterystyki promieniowania powinien odbywać się w stałej odległości od badanej anteny. Ponieważ przy opisanej metodzie nawigacji spełnienie tego warunku nie jest możliwe, konieczne jest wprowadzenie odpowiednich współczynników korekcyjnych. Konieczne jest również uwzględnienie kształtu charakterystyki promieniowania anteny pomocniczej.



równego cosinusowi kąta, jaki tworzy wektor pola elektrycznego z płaszczyzną wyznaczoną przez wektory  $I_x$  i  $I_R$ . Kąt ten jest niezależny od współrzędnej  $\Phi$  i równy maksymalnemu kątowi elewacji  $\gamma_m$ . Wartość odpowiedniej poprawki wyrażona w decybelach wynosi więc (rys. 13)

$$E_p = -20 \log \cos \gamma_m \quad (16)$$

Na wszystkich odcinkach lotu konieczne jest wprowadzenie poprawki ze względu na zmianę odległości od anteny pomocniczej do anteny badanej. Poprawkę tę najwygodniej wyrazić w następującej postaci

$$\Delta E_{RH}(\Phi) = 20 \log \left( \frac{\sin \gamma_m}{\sin \gamma} \right) \quad (17)$$

przy czym między kątem elewacji  $\gamma$  a współrzędną  $\Phi$  i maksymalnym kątem elewacji  $\gamma_m$  zachodzą następujące związki:

— dla odcinków 1—2 i 3—4

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_m |\sin \Phi| \quad (18a)$$

— dla odcinków 2—3 i 4—1

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_m |\cos \Phi| \quad (18b)$$

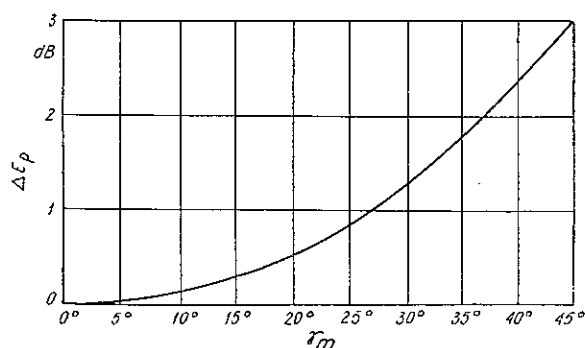
Zależność kąta elewacji od współrzędnej  $\Phi$  przedstawiono na rys. 14, natomiast poprawkę odległościową na rys. 15.

Przy pomiarze anten o wąskiej charakterystyce promieniowania należy jeszcze uwzględnić zmiany kąta elewacji. Ostatecznie więc zysk energetyczny badanej anteny (wyrażony w decybelach względem źródła izotropowego) jako funkcja azymutu (przy ustalonej wartości kąta elewacji) wyraża się następującym wzorem:

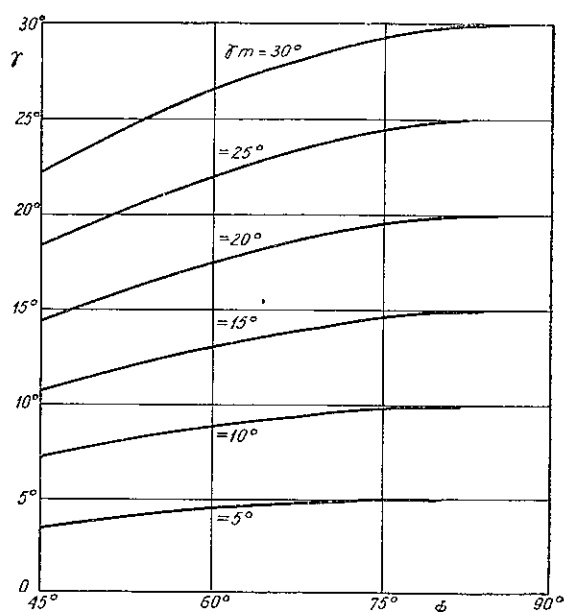
$$G(\Phi) = U(\Phi) + 36,8 - 20 \log \lambda - 10 \log R_A - E_j - 20 \log I + \\ + 10 \log \left( \frac{a^2}{4} + H^2 \right) + \Delta E_p + \Delta E_{RH}(\Phi) + \Delta \gamma(\Phi) \quad (19)$$

w którym:

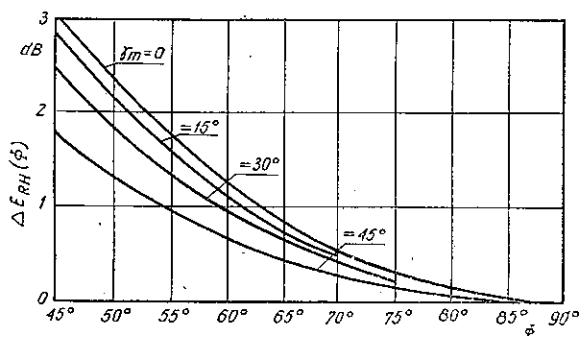
- $U(\Phi)$  — napięcie na zaciskach badanej anteny, mierzone za pomocą dopasowanego odbiornika (w decybelach w stosunku do 1  $\mu V$ ),
- $\lambda$  — długość fali w m,
- $R_A$  — rezystancja wejściowa anteny w  $\Omega$ ,
- $E_j$  — natężenie pola wytwarzane w odległości 1 km przez antenę ramową, w której płynie prąd 1 A (w decybelach względem 1  $\mu V/m$ ),
- $I$  — natężenie prądu (wartość skuteczna) w antenie ramowej w A,
- $a$  — długość boku kwadratu pomiarowego w km,
- $H$  — wysokość lotu w km,
- $E_p$  — poprawka ze względu na niedopasowanie polaryzacyjne (tylko dla odcinków 2—3 i 4—1) w dB,



Rys. 13. Poprawka ze względu na niedopasowanie polaryzacyjne dla odcinków 2-3 i 4-1



Rys. 14. Zmiana kąta elewacji przy locie po kwadracie na stałej wysokości (odcinek 1-2)



Rys. 15. Zależność poprawki odległościowej od współrzędnej  $\phi$

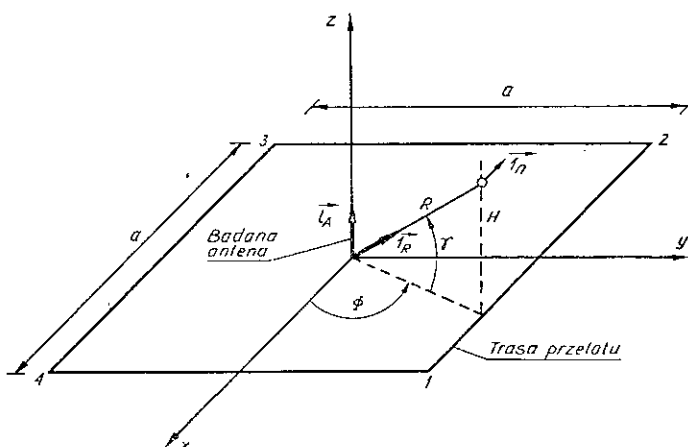
$\Delta E_{RH}(\Phi)$  — poprawka odległościowa w dB,

$\Delta \gamma(\Phi)$  — poprawka uwzględniająca kształt pionowej charakterystyki promieniowania badanej anteny w dB.

W konkretnych warunkach terenowych może się okazać, że ustawienie radiolatarni w sposób pokazany na rys. 14 jest niemożliwe (na przykład wektorowa długość skuteczna anteny tworzy z osią  $x$  kąt różny od zera). Należy wówczas odpowiednio zmodyfikować wyrażenia na poprawki.

### 6.1.2. Anteny o polaryzacji pionowej

Przy pomiarze anten o polaryzacji pionowej płaszczyzna ramy powinna być prostopadła do kierunku lotu (rys. 16). Ze względu na charakterystykę promieniowania anteny konieczne jest wprowadzenie poprawki określonej zależnością:



Rys. 16. Usytuowanie anteny ramowej przy pomiarze charakterystyki promieniowania anteny o polaryzacji pionowej

— dla odcinków 1—2 i 3—4

$$\Delta E_K(\Phi) = -20 \log |\sin \Phi| \quad (2Ca)$$

— dla odcinków 2—3 i 4—1

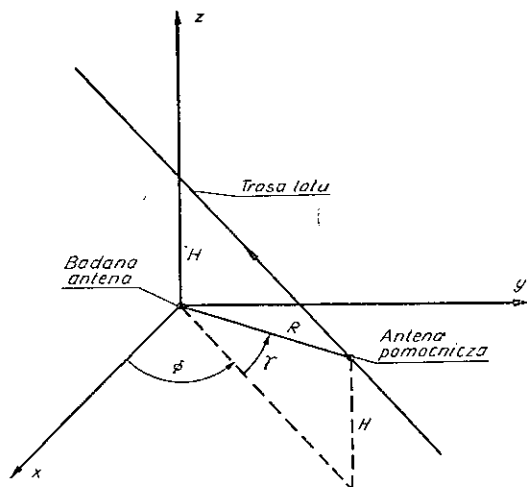
$$\Delta E_K(\Phi) = -20 \log |\cos \Phi| \quad (20b)$$

Wartość poprawki  $E_K$  można odczytać z wykresu na rys. 15.

Zysk energetyczny badanej anteny oblicza się według wzoru (19), z tym że zamiast poprawki  $\Delta E_p$  należy stosować poprawkę  $\Delta E_K(\Phi)$ .

## 6.2. Pomiar charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie pionowej

Pionowe przekroje przestrzennej charakterystyki promieniowania wyznacza się w locie po prostej, przechodzącej przez środek badanej anteny (rys. 17). Antena pomocnicza (ramowa) powinna leżeć w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez kierunek lotu przy pomiarze anten o polaryzacji pionowej lub w płaszczyźnie po-



Rys. 17. Pomiar charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie pionowej

ziomej przy pomiarze anten spolaryzowanych poziomo. W obu przypadkach konieczna jest korekcja ze względu na zmianę odległości, określona wzorem

$$\Delta E_{RV}(\gamma) = -20 \log \sin \gamma \quad (21)$$

Wykres poprawki  $\Delta E_{RV}(\gamma)$  przedstawiono na rys. 18.

Przy pomiarze anten o polaryzacji poziomej należy jeszcze uwzględnić właściwości kierunkowe anteny pomocniczej. Odpowiednia poprawka ma postać

$$\Delta E_H(\gamma) = -20 \log \cos \gamma \quad (22)$$

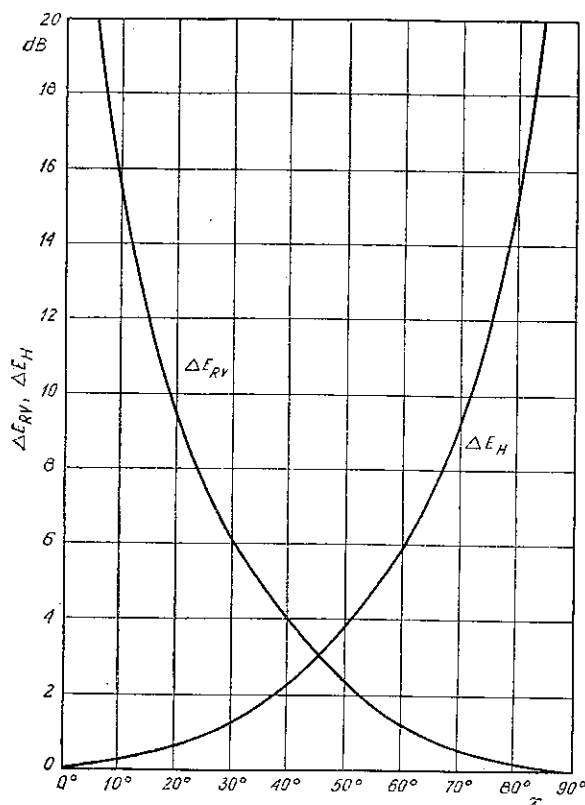
Również wartość poprawki  $\Delta E_H(\gamma)$  można odczytać z wykresu na rys. 18.

Zysk energetyczny badanej anteny (wyrażony w decybelach względem źródła izotropowego) jako funkcja kąta elewacji (przy ustalonej wartości azymutu) wyraża się zależnością

$$G(\gamma) = U(\gamma) = 36,8 - 20 \log \lambda - 10 \log R_A - E_j - 20 \log I + 20 \log H + \Delta E_{RV}(\gamma) + \Delta E_H(\gamma) \quad (23)$$

w której:

- $U(\gamma)$  — napięcie na zaciskach badanej anteny, mierzone za pomocą dopasowanego odbiornika (w decybelach w stosunku do  $1 \mu\text{V/m}$ ),
- $\lambda$  — długość fali w m,
- $R_A$  — rezystancja wejściowa anteny w  $\Omega$ ,



Rys. 18. Poprawka odległościowa  $\Delta E_{RV}$  i poprawka ze względu na charakterystykę promieniowania anteny pomocniczej  $\Delta E_H$

$E_j$  — natężenie pola wytwarzane w odległości 1 km przez antenę ramową, w której płynie prąd 1 A, w decybelach względem  $1 \mu V/m$ ,

$I$  — natężenie prądu (wartość skuteczna) w antenie ramowej w A,

$H$  — wysokość lotu w km,

$\Delta E_{RV}(\gamma)$  — poprawka odległościowa w dB,

$\Delta E_H(\gamma)$  — poprawka uwzględniająca właściwości kierunkowe anteny pomocniczej (tylko przy pomiarze anten spolaryzowanych poziomo).

## 7. DOKŁADNOŚĆ POMIARU

Na dokładność pomiaru zysku energetycznego mają wpływ następujące czynniki:

1. Błąd cechowania anteny ramowej, którego wartość nie przekracza 0,5 dB.
2. Błąd pomiaru napięcia na zaciskach anteny, który szacuje się na 0,4 dB.
3. Zniekształcenie pola spowodowane obecnością śmigłowca; ze względu na znaczne odsunięcie anteny od śmigłowca błąd ten jest mniejszy niż 0,1 dB.
4. Błędy nawigacji, błędy pomiaru spowodowane błędami nawigacji zależą od

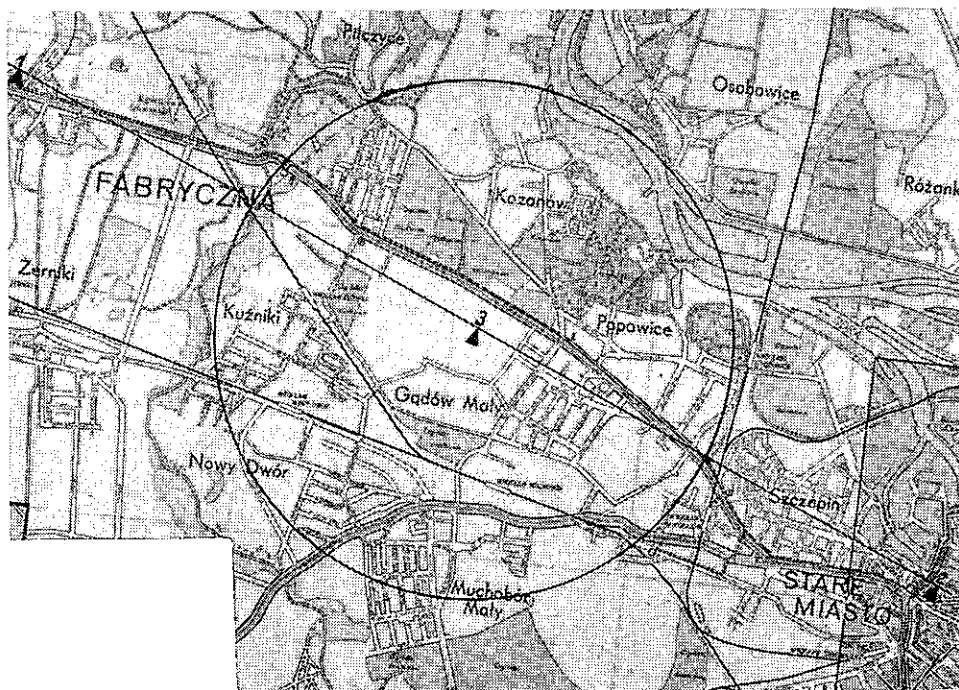


polaryzacji badanej anteny oraz od geometrii lotu. W otoczeniu kierunku maksymalnego promieniowania można przyjąć, że błąd spowodowany zmianą odległości wynosi około 0,2 dB, a błąd spowodowany odchyleniami anteny pomocniczej również 0,3 dB. Łączny błąd nawigacji szacuje się na 0,5 dB.

Pomiar zysku energetycznego jest więc obciążony błędem  $\pm 1,5$  dB. Błąd cechowania anteny ramowej oraz błąd pomiaru napięcia nie mają wpływu na kształt charakterystyki promieniowania. Dokładność pomiaru charakterystyki promieniowania jest więc obciążona jedynie błędem  $\pm 0,6$  dB.

## 8. PRÓBNE POMIARY

Próbne pomiary anten krótkofalowych przy użyciu śmigłowca w oparciu o opracowaną metodę przeprowadzono po raz pierwszy w kraju w miesiącach lipcu i sierpniu 1973 r. Do tych celów wykorzystano śmigłowce typu SM-1 Zespołu Lotnictwa Sanitarnego we Wrocławiu. Przeprowadzono szereg prób zgodnie z obowiązującą procedurą w lotnictwie. Rozwiązania konstrukcyjne zostały zatwierdzone przez Inspektorat Kontroli Cywilnych Statków Powietrznych Ministerstwa Komunikacji.



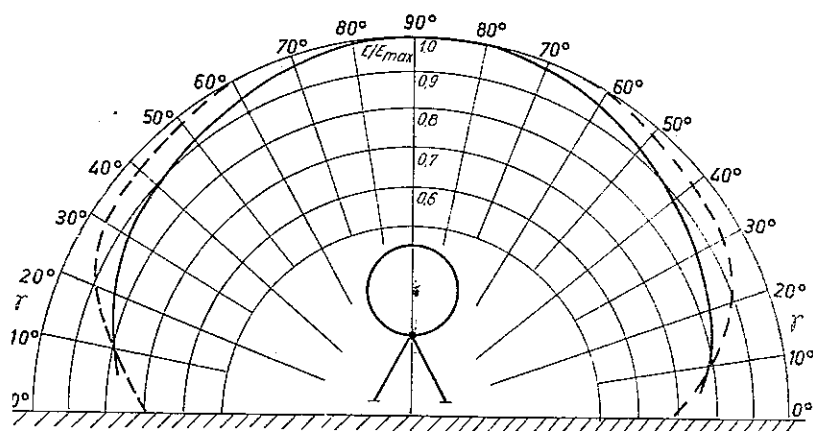
Rys. 19. Trasy lotów pomiarowych

1, 2 — radiolaternie, 3 — badana antena i radiolateria

Pierwsze pomiary wykonano nad lotniskiem Gądów Mały we Wrocławiu. Zbadano wówczas antenę ramową i antenę prętową, stanowiące wyposażenie typowego miernika natężenia pola. Szkic terenu pomiarowego z zaznaczeniem położenia badanej anteny i radiolatarni pokazano na rys. 19. Przeprowadzone pomiary wykazały poprawność opracowanej metody pomiaru zysku energetycznego i charakterystyk promieniowania anten krótkofalowych przy użyciu śmigłowca. Natężenie pola wzorcowego w zenitalnym położeniu śmigłowca wynosi

$$E = E_j + 20 \log I - 20 \lg R = 38,2 + 20 + 6 = 64,2 \text{ dB}$$

Wartość natężenia pola odczytana na mierniku wynosiła  $64,7 \pm 0,2 \text{ dB}$ . Zgodność uzyskanych wyników jest więc bardzo dobra. Wykres zmierzonej charakterystyki promieniowania anteny ramowej pokazano na rys. 20. Na rysunku przedstawiono również charakterystykę teoretyczną dla ziemi o parametrach  $\sigma = 60 \text{ mS/m}$ ,  $\epsilon_r = 4$ ,  $R = 4 \text{ km}$ . Zgodność obydwu charakterystyk jest również bardzo dobra.

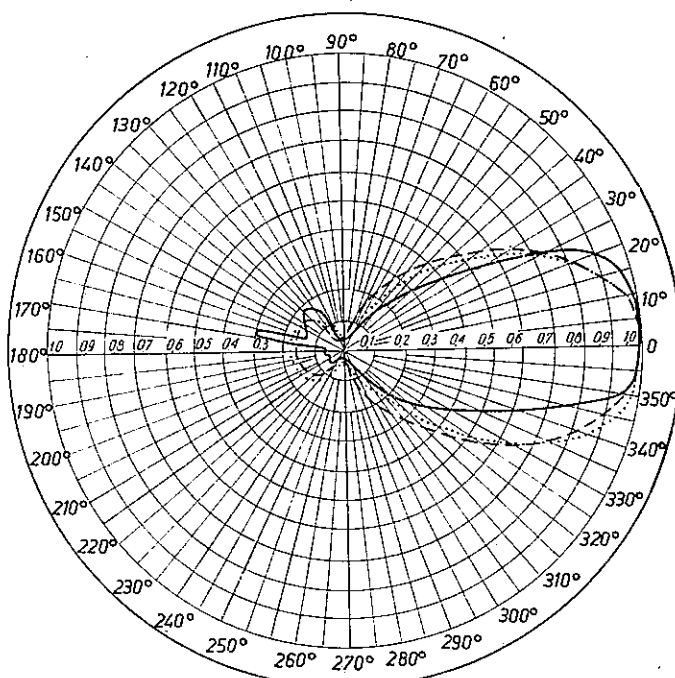


Rys. 20. Pionowa charakterystyka promieniowania anteny ramowej

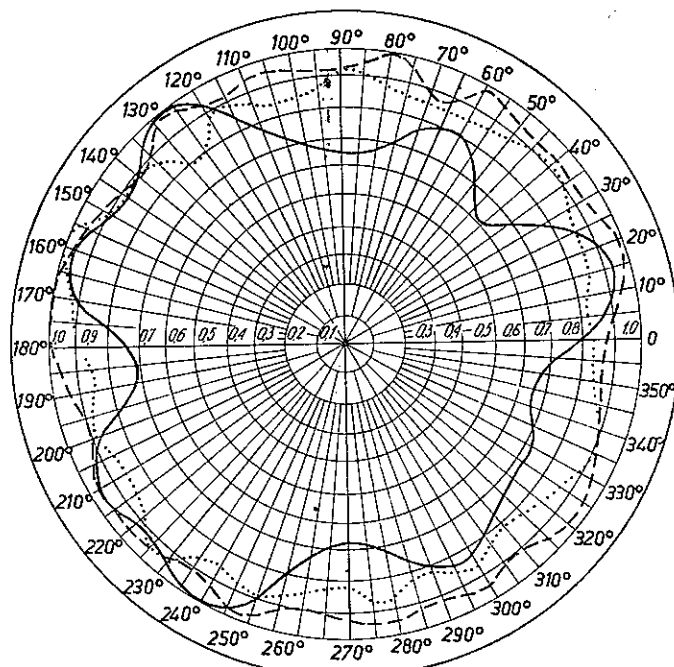
— przebieg zmierzony; — — — przebieg teoretyczny dla ziemi o parametrach:  
 $\sigma = 60 \text{ mS/m}$ ,  $\epsilon_r = 4$ ,  $R = 4 \text{ km}$

Dalsze pomiary przeprowadzono na jednym z obiektów krótkofalowych Ministerstwa Łączności, badając anteny z falą bieżącą, anteny kwadrantowe i szerokopasmowe unipole pionowe. Przykładowe wyniki pomiarów pokazano na rys. 21, 22 i 23, na których podano także charakterystyki teoretyczne oraz wyniki badań modelowych<sup>1)</sup>.

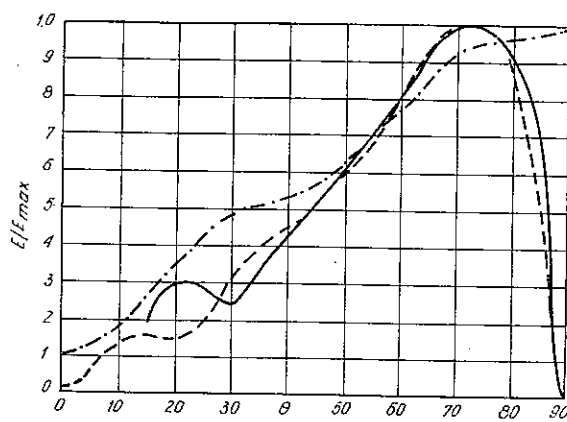
<sup>1)</sup> Obliczenie teoretyczne i badania modelowe były wykonane przez Instytut Łączności, Oddział we Wrocławiu [7].



Rys. 21. Pozioma charakterystyka promieniowania anteny z falą bieżącą ( $f = 6,3$  MHz)  
 — pomiar za pomocą śmigłowca; ..... pomiar na modelu w skali 1 : 35;  
 - - - - charakterystyka teoretyczna



Rys. 22. Pozioma charakterystyka promieniowania anteny wycierzowej  
 — pomiar za pomocą śmigłowca; ..... pomiar na modelu w skali 1 : 25;  
 - - - - charakterystyka teoretyczna



Rys. 23. Pionowa charakterystyka promieniowania anteny wcię-rzowej

— pomiar za pomocą śmigłowca;  
 - - - pomiar na modelu w skali 1:25;  
 - · - · charakterystyka teoretyczna dla  
 ziemi o parametrach  $\epsilon_r = 4$ ,  $\sigma = 5 \text{ mS/m}$

## 9. WNIOSKI

Na podstawie niniejszego opracowania i pomiarów praktycznych wykonanych w rzeczywistym ośrodku antenowym można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Organizacją pomiarów w kraju przy użyciu śmigłowca powinna się zajmować wyspecjalizowana jednostka branżowa, posiadająca odpowiednie możliwości techniczne i przygotowanie fachowe.
2. Z uwagi na duże nakłady inwestycyjne na zakup śmigłowca, aparaturę pomiarową oraz koszty eksploatacji należy opracować kompleksowy program pomiarów charakterystyk przestrzennych anten we wszystkich zakresach częstotliwości oraz pomiarów zakłóceń przy wykorzystaniu śmigłowca.
3. Konieczne jest dalsze doskonalenie metody, mające na celu wprowadzenie innych anten pomocniczych (dipol symetryczny, anteny ferrytowe), zwiększenie precyzji nawigacji (dalmierz laserowy) oraz automatyzację opracowania wyników pomiarów za pomocą emc. Wymaga to dalszych prac naukowo-badawczych oraz zdobywania doświadczeń praktycznych i nakładów inwestycyjnych na zakup profesjonalnej aparatury kontrolno-pomiarowej.
4. Eksploatacja śmigłowca wymaga odpowiedniego zaplecza technicznego i doświadczonego personelu lotniczego.

## WYKAZ LITERATURY

1. Henss P.: Messungen von Richtdiagrammen und Gewinnkurven an Sende- und Empfangsantennen in Kurzwellenbereich mittels eines Hubschraubes. Der Fernmelde-Ingenieur, 1972, Bd. 26, nr 2, s. 1—34.
2. Henss P.: Diagramm und Gewinnmessungen an Antennen. RME, 1973, Bd 39, nr 4, s. 143—148

3. *Fitzgerell R.G.*: Gain measurements of vertically polarized antennas over imperfect ground. IEEE Trans. Antennas Propagation. Vol. AP-15, pp. 211—216, Mar. 1967.
4. *Bem D.J.*: Anteny i rozchodzenie się fal radiowych. WNT. Warszawa 1973.
5. *Bem D.J., Żernicki E.*: Pomiar charakterystyk promieniowania i zysku energetycznego anten krótkofalowych. Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji i Akustyki, Komunikat nr E-17, Wrocław 1974.
6. *Stasierski L., Cichy A.*: Badanie współpracy anten w ośrodkach radiokomunikacyjnych. Instytut Łączności, Sprawozdanie z pracy nr 120/11, część trzecia, Wrocław 1973.
7. Dokumentacja techniczna śmigłowca SM-1.
8. Dokumentacja techniczna śmigłowca Mi-2.

Д.Й. Бем, Е.Жернишки

#### ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ КОРТКОВОЛНОВЫХ АНТЕНН

##### Резюме

В статье описаны методы измерений коэффициента усиления и диаграммы направленности коротковолновых антенн, с применением образцового поля, создаваемого с помощью помещенной на вертолете рамочной антенны.

Описан здесь тоже метод, нужных для этих целей навигационных операций, при использовании радиомаяков.

В качестве примеров подаются тоже результаты измерений нескольких антенн.

Точность измерений коэффициента усиления равна  $\pm 15$  дБ, а точность измерений диаграммы направленности  $\pm 0,6$  дБ.

*D.J. Bem, E. Żernicki*

#### MEASUREMENTS OF SHORT WAVE AERIALS RADIATION PATTERNS AND POWER GAIN

##### Summary

The paper deals with the method of measuring power gain and radiation patterns of short wave aerials, applying the field intensity standard, provided by a loop aerial, installed on a helicopter.

A method of radionavigation, necessary for this purpose using radio beacons has been presented.

As examples, results of some aerial measurements have been given.

The accuracy of power gain measurements equals  $\pm 1,5$  dB, while that of the radiation pattern measurements equals  $\pm 0,6$  dB.

*D.J. Bem, E. Żernicki*

### MESURES DU DIAGRAMME DE RAYONNEMENT ET DU GAIN DES ANTENNES A ONDES COURTES

#### Résumé

Dans l'article on a décrit une méthode de mesure du gain et du diagramme de rayonnement des antennes à ondes courtes au moyen du champ étalon produit par le cadre, placé dans un hélicoptère.

Le mode de diriger l'hélicoptère avec l'application des radiophares, nécessaire pour ce but, a été, présenté.

Les résultats des mesures de quelques antennes sont donnés à titre d'exemple.

L'exactitude des mesures du gain est de  $\pm 1,5$  dB, tandis que l'exactitude des mesures du diagramme de rayonnement est de  $\pm 0,6$  dB.

*D.J. Bem, E. Żernicki*

### MESSUNG DES STRAHLUNGSDIAGRAMMS UND GEWINNS DER KURZWELLENANTENNEN

#### Zusammenfassung

In der Arbeit wurde die Messmethode des Gewinns und Strahlungsdiagramms der Kurzwellenantennen bei Verwendung des von der an einem Hubschrauber gebrachte Rahmenantenne erzeugten Musterfeldes beschrieben.

Es wurde auch die zu diesem Zweck nötige Navigationsmethode bei Verwendung einer Funkbarke beschrieben.

Als Beispiel wurden die Messresultate einiger Antennen gegeben.

Die Messgenauigkeit des Gewinns beträgt  $\pm 1,5$  dB, und die Messgenauigkeit des Strahlungsdiagramms ist  $\pm 0,6$  dB.

Daniel Józef Bem  
Tadeusz Surma

681.3.06:621.371.095.3

## OBLICZANIE NATĘŻENIA POŁA FALI POWIERZCHNIOWEJ PRZY UŻYCIU PROGRAMU "GROUND WAVE"

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 11.XII.1974 r.

Omówiono obliczanie natężenia pola fali powierzchniowej nad terenem niejednorodnym przy użyciu emc w oparciu o wzór Millingtona i krzywe propagacji CCIR.

Program „ground wave” pozwala na obliczanie przebiegu natężenia pola w funkcji odległości przy dowolnym rozkładzie przewodności skutecznej wzdłuż trasy.

Można również obliczyć punkty, w których natężenie pola przyjmuje zadane wartości. Program jest napisany w języku ALGOL 1900.

### 1. WSTĘP

W praktycznych obliczeniach natężenia pola fali powierzchniowej o częstotliwości nie przekraczającej 10 MHz stosuje się krzywe CCIR [1], opracowane na podstawie dokładnej teoretycznej analizy van der Pola i Bremmera. Krzywe te pozwalają na wyznaczenie natężenia pola nad ziemią jednorodną. W rzeczywistych warunkach przypadek taki zdarza się rzadko. Najczęściej fala od anteny nadawczej do anteny odbiorczej przebywa drogę nad glebami o różnych parametrach elektrycznych.

Dokładna analiza propagacji fali elektromagnetycznej nad terenem niejednorodnym jest bardzo skomplikowana; praktycznie jest ona możliwa jedynie przy pewnych założeniach upraszczających. Z tego względu duże znaczenie mają metody półempiryczne, do których należy metoda Millingtona. Porównanie metody Millingtona z metodami teoretycznymi wykazało dostateczną zgodność tych metod [2], można więc metodę Millingtona z powodzeniem stosować w obliczeniach inżynierskich.

Mimo prostoty metody Millingtona, wyznaczanie zasięgu radiostacji tą metodą wymaga wykonywania dużej liczby obliczeń i jest bardzo pracochłonne. Dla ułatwienia realizacji tego zadania opracowany został program obliczania natężenia pola fali powierzchniowej przy użyciu emc w oparciu o wzór Millingtona, czyli tzw. program „ground wave”. Program ten napisano w języku ALGOL 1900.

## 2. OBLICZANIE NATĘŻENIA POLA FALI POWIERZCHNIOWEJ NAD TERENEM NIEJEDNORODNYM METODĄ MILLINGTONA

Rozpatrzmy trasę złożoną z dwóch jednorodnych odcinków (rys. 1a) o przewodnościach skutecznych (konduktancjach)<sup>1)</sup>  $\sigma_1$  i  $\sigma_2$ . Natężenie pola elektrycznego fali powierzchniowej dla tej trasy wyraża się następującym wzorem [4]

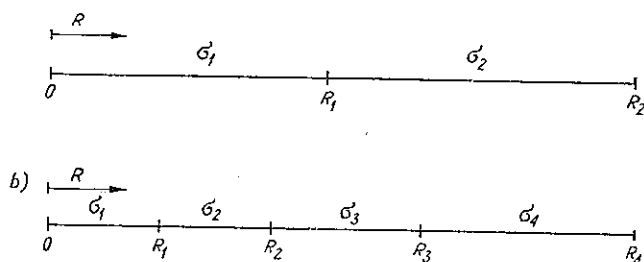
$$E(R) = \sqrt{\frac{E(R_1, \sigma_1)}{E(R_1, \sigma_2)} \cdot \frac{E(R-R_1, \sigma_2)}{E(R-R_1, \sigma_1)} \cdot E(R, \sigma_1) \cdot E(R, \sigma_2)} \quad (1)$$

w którym:

$E(R, \sigma)$  — natężenie pola w odległości  $R$  wzdłuż jednorodnej trasy o przewodności skutecznej  $\sigma$ ;

$R_1$  — długość odcinka trasy o przewodności skutecznej  $\sigma_1$ ;

$R$  — odległość od anteny do punktu obserwacji.



Rys. 1. Trasa niejednorodna, złożona z dwóch (a) lub kilku (b) odcinków jednorodnych

<sup>1)</sup> Pojęciem przewodności skutecznej danego odcinka jednorodnego określa się wartość przewodności, wynikającą z przebiegu propagacji fal powierzchniowych radiowych danego zakresu, będącego funkcją przewodności właściwej, z uwzględnieniem fizycznego charakteru terenu, istniejącej fitosfery oraz pionowej rzeźby terenowej wzdłuż przekroju trasy.

Istniejące mapy przewodności gruntu w kraju dotyczą właśnie tej wielkości.

W powyższym określeniu przewodność skuteczna dla całego łańcucha odcinków jednorodnych o założonych wartościach przewodności jest taka, że na jego krańcu występuje natężenie pola o wartości zgodnej z obowiązującymi krzywymi CCIR.



Jeśli natężenie pola wyrazić w mierze logarytmicznej, to wzór (1) można sprowadzić do postaci

$$E(R) = \frac{1}{2} [E(R_1, \sigma_1) + E(R - R_1, \sigma_2) - E(R_1, \sigma_2) - E(R - R_1, \sigma_1) + E(R, \sigma_1) + E(R, \sigma_2)] \quad (2)$$

W przypadku trasy złożonej z wielu jednorodnych odcinków (rys. 1b) wzór (2) można uogólnić następująco

$$E(R) = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{n=1}^{N-1} [E(R_n, \sigma_n) + E(R - R_n, \sigma_{n+1}) - E(R_n, \sigma_{n+1}) - E(R - R_n, \sigma_n) + E(R, \sigma_1) + E(R, \sigma_N)] \right\} \quad (3)$$

przy czym  $N$  jest najmniejszym wskaźnikiem, dla którego  $R < R_N$ .

### 3. OPIS PROGRAMU

Podstawę do obliczeń stanowią krzywe CCIR propagacji fali powierzchniowej, które w postaci stabelaryzowanej są umieszczone w pamięci maszyny. Do obliczania wartości natężenia pola dla dowolnych wartości parametrów  $R$ ,  $f$ ,  $\sigma$  służy specjalna procedura, za pomocą której wykonuje się interpolację kwadratowo-liniową. Interpolację funkcji trzech zmiennych zastępuje się trzema interpolacjami funkcji jednej zmiennej:

- względem zmiennej  $R$  (interpolacja liniowa),
- względem zmiennej  $f$  (interpolacja kwadratowa),
- względem zmiennej  $\sigma$  (interpolacja kwadratowa).

#### Interpolacja względem zmiennej $R$

Mając dane wartości  $E(R_i)$  i  $E(R_{i+1})$  wartość  $E(R)$  dla  $R_i < R < R_{i+1}$  wyznaczamy ze wzoru

$$E(R) = \frac{E(R_{i+1}) - E(R_i)}{R_{i+1} - R_i} (R - R_i) + E(R_i) \quad (4)$$

przy czym punkty węzłowe  $R_j$  ( $j = 1, 2 \dots 28$ ) mogą przyjmować następujące wartości:

$$1, 2, \dots, 9, 10, 20 \dots 90, 100, 200 \dots 1000 \text{ [km]}$$

Dla tych wartości zmiennej  $R$  wykonano odczyty z krzywych propagacji.

### Interpolacja względem zmiennej $f$

Dla zadanej częstotliwości  $f$  szukamy takich wartości  $f_{i-1}$ ,  $f_i$ ,  $f_{i+1}$ , aby częstotliwość  $f$  leżała w przedziale  $(f_{i-1}, f_{i+1})$ , przy czym  $f_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 16$ ) może przyjmować jedną z następujących wartości: 10, 15, 30, 60, 150, 200, 300, 500, 700, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7500, 10000 kHz. Są to wartości częstotliwości, dla których sporządzono krzywe propagacji fali powierzchniowej.

W oparciu o częstotliwości  $f_{i-1}$ ,  $f_i$ ,  $f_{i+1}$  oraz wartości natężenia pola, odpowiadające tym częstotliwościom, wykonuje się interpolację wielomianem stopnia drugiego

$$E(f) = E(f_{i-1}) \frac{(f-f_i)(f-f_{i+1})}{(f_{i-1}-f_i)(f_{i-1}-f_{i+1})} + E(f_i) \frac{(f-f_{i-1})(f-f_{i+1})}{(f_i-f_{i-1})(f_i-f_{i+1})} + E(f_{i+1}) \frac{(f-f_{i-1})(f-f_i)}{(f_{i+1}-f_{i-1})(f_{i+1}-f_i)} \quad (5)$$

### Interpolacja względem zmiennej $\sigma$

Interpolację względem zmiennej  $\sigma$  wykonuje się za pomocą wielomianu drugiego stopnia w sposób analogiczny jak dla zmiennej  $f$ . W celu zmniejszenia dysproporcji w rozmieszczeniu węzłów interpolacji (krzywe propagacji fali powierzchniowej są sporządzone dla  $\sigma = 1, 3, 10, 30$  i 4000 mS/m), a co za tym idzie zwiększenia dokładności obliczeń, zlogarytmowano wartości zmiennej niezależnej.

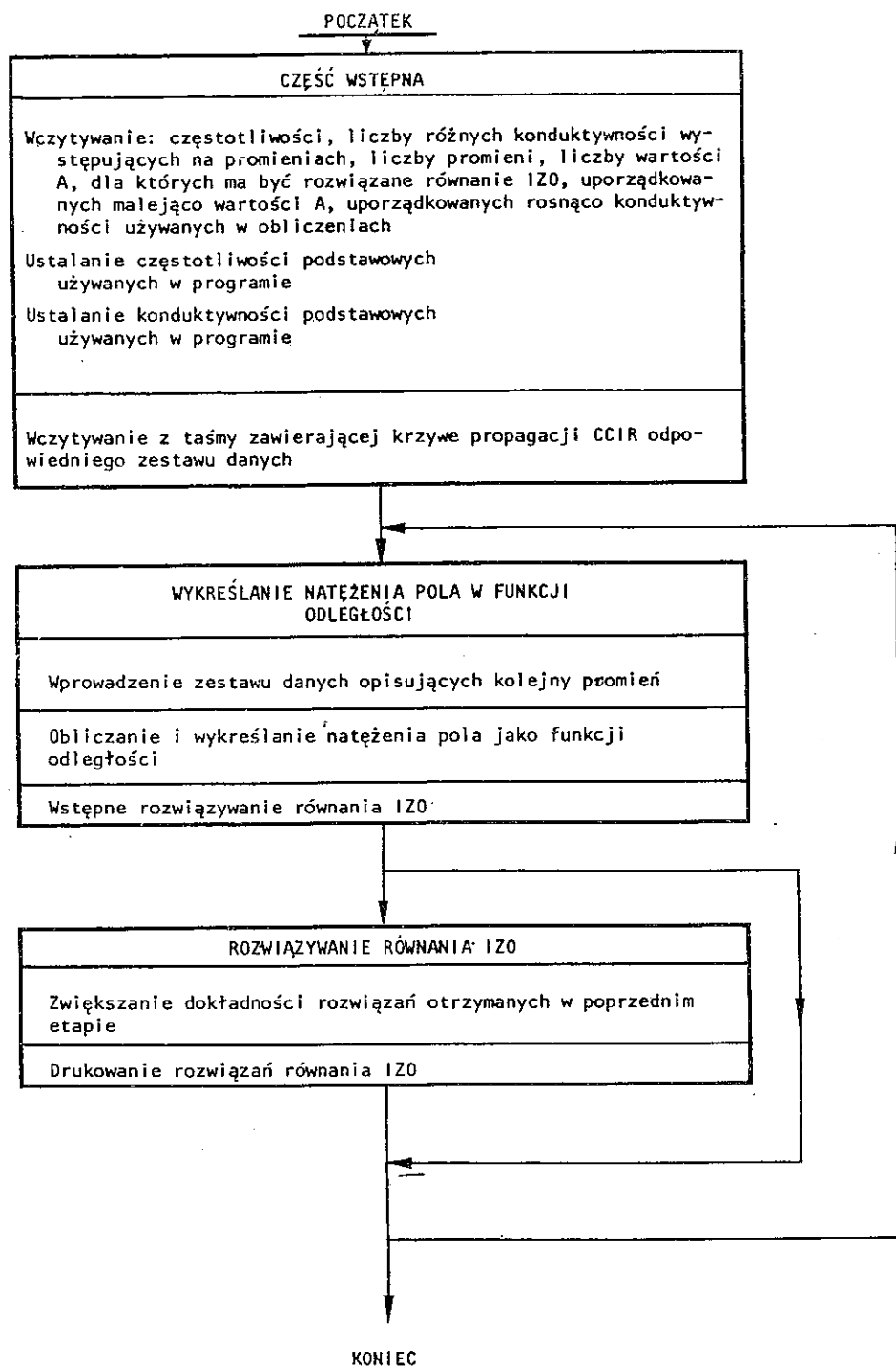
Program „ground wave” może służyć do wyznaczenia przebiegu natężenia pola wzdłuż określonej trasy lub do określenia zasięgu radiostacji. W tym ostatnim przypadku obliczenia wykonuje się na pewnej liczbie tras rozchodzących się promieniście od anteny nadawczej. Liczba oraz azymuty tych tras, nazywanych dalej promieniami, mogą być wybrane dowolnie.

Wyznaczenie zasięgu radiostacji jest znacznie ułatwione, jeśli są znane krzywe równego natężenia pola. W związku z tym program „ground-wave” umożliwia rozwiązanie równania

$$E(R) = A = \text{const} \quad (6)$$

dla dowolnie zadanej wartości  $A$ . Równanie (6) oznaczono w programie jako równanie IZO.

Organizacja programu „ground-wave” wynika ze schematu pokazanego na rys.2.



Rys. 2. Schemat programu „ground-wave”

### Ograniczenia

Ze względu na optymalizację procesu liczenia wprowadzono następujące ograniczenia:

- Punkty, w których zachodzi zmiana przewodności skutecznej gruntu, należy podawać z dokładnością do 1 km.
- Przewodność skuteczna gruntu może przyjmować wartości całkowite z przedziału [1, 4000].
- Natężenie pola można obliczać wyłącznie w punktach odległych od nadajnika o całkowitą liczbę kilometrów.
- Krok liczenia może być wybrany dowolnie i nie musi być stały wzdłuż całego promienia. Natężenie pola jest więc liczone w odległościach  $R_i + n\Delta R$  ( $n = 1, 2, \dots$ ), przy czym  $R_i$  jest lewą granicą odcinka, wzdłuż którego wykonuje się obliczenia z krokiem  $\Delta R$ . Jako lewą granicę pierwszego odcinka przyjmuje się 0, z tym że pierwsze obliczenie jest zawsze wykonane dla odległości 1 km.
- Obliczenia zostają przerwane, jeśli wartość natężenia pola spadnie poniżej najmniejszej wartości, dla której sporządza się krzywe równego natężenia pola (obowiązuje tylko przy liczeniu krzywych równego natężenia pola).

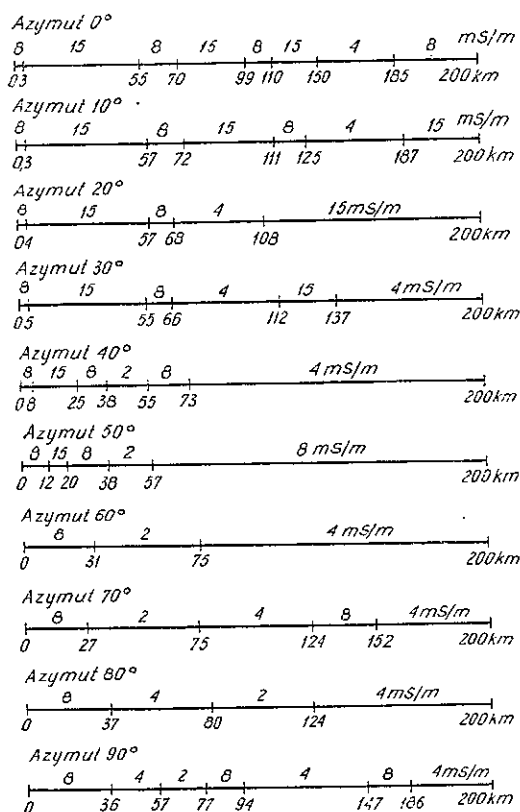
### Forma wydruku

Wyniki obliczeń są poprzedzone tytułem: „Natężenie pola fali powierzchniowej”, po którym drukuje się nazwę obiektu oraz częstotliwość, dla której wykonano obliczenia.

W dalszej kolejności następują parametry identyfikujące promień (numer i azymut) oraz rozkład przewodności na promieniu, a następnie przebieg natężenia pola w funkcji odległości. Pierwsza kolumna podaje odległość w kilometrach od anteny nadawczej, druga — natężenie pola w decybelach względem  $1 \mu\text{V/m}$ . Przebieg natężenia pola w funkcji odległości jest przedstawiony również za pomocą wykresu. Na wykresie tym dodatnie wartości natężenia pola są drukowane za pomocą znaku „+”, wartości ujemne za pomocą znaku „-”. Poziom zerowy jest wyznaczony przez kropki dziesiętne w liczbach podających natężenie pola. Położenie poziomego zerowego jest określone tak, aby maksymalnie wykorzystać szerokość kolumny. Po wykresie przebiegu natężenia pola drukowane są odległości, odpowiadające ustalonym wartościom natężenia pola, jeśli wykonanie takich obliczeń było przewidziane.

## 4. PRZYKŁAD OBLICZEŃ

Dla ilustracji możliwości programu „ground-wave” zostanie wyznaczony zasięg dzienny radiostacji średnioletowej, pracującej na częstotliwości 1259 kHz i zlokalizowanej we wsi Żórawina koło Wrocławia. Moc nadajnika wynosi 100 kW, radiostacja jest wyposażona w antenę 0,55  $\lambda$  o zysku energetycznym 2,6 dB względem anteny krótkiej nad ziemią. Jako poziomy graniczny natężenia pola przyjmuje się 3 mV/m (69,5 dB).



Rys. 3. Przykładowy rozkład konduktywności wzdłuż promieni

Przed wszystkim należy wyznaczyć rozkład przewodności na promieniach korzystając z mapy przewodności skutecznej gruntów na terenie Polski [4]. Na rysunku 3 pokazano przykładowo rozkład przewodności na kilku pierwszych promieniach. Wyniki obliczeń dla promienia 70° przedstawiono na rys. 4.

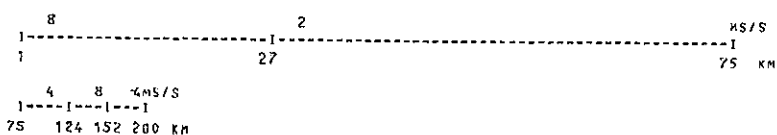
Na podstawie wyników obliczeń dla wszystkich promieni sporządzono wykres krzywych równego natężenia pola (rys. 5). Zasięg radiostacji wyznacza krzywa od-

## NATEZENIE POLA FALI POWIERZCHNIOWEJ

OBIEKT: RGN ZDRAZINA  
CZESTOTLIWOSC: 1259 KHZ

PROMIEN NR: 1 AZYMUT: 70,00

## ROZKLAD KONDUKTYWNOŚCI NA PROMIENIU



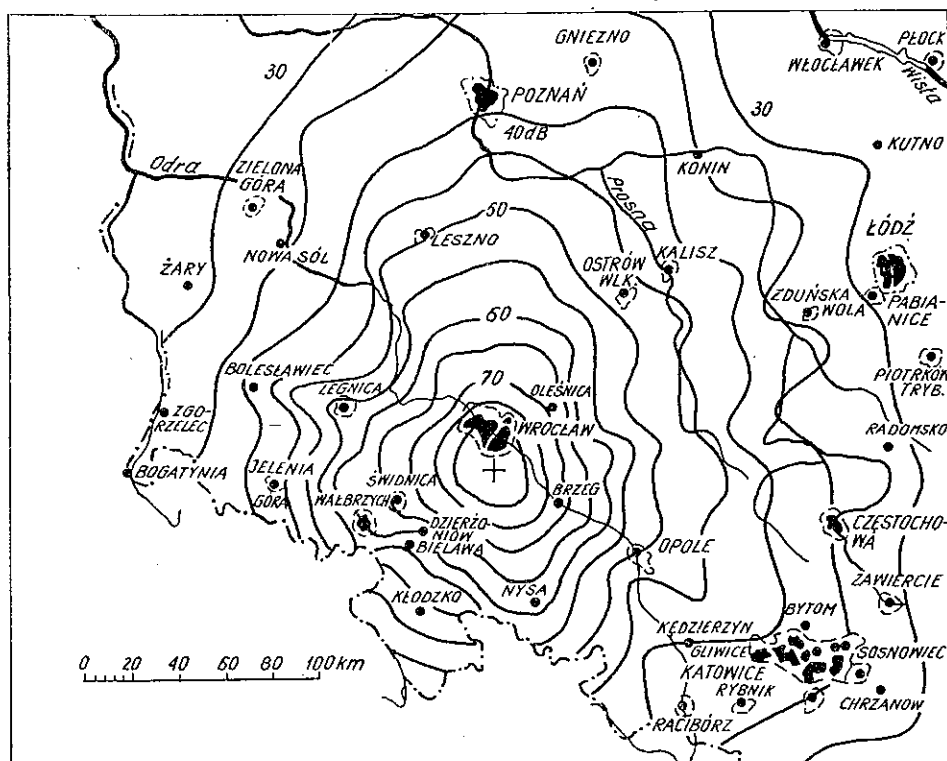
## NATEZENIE POLA W FUNKCJI ODLEGŁOŚCI

KM	DB
0	109,32
10	84,44
20	73,82
30	65,78
40	58,55
50	51,41
60	47,13
70	43,57
80	42,57
90	40,73
100	38,53
110	36,76
120	35,01
130	34,55
140	33,51
150	32,32
160	29,06

## ODLEGŁOŚCI ODPÓWIAJĄCE USTALONYM WARTOŚCIOM NATEZENIA POLA

NATEZENIE POLA	ODLEGŁOŚĆ
80 DB	14,18 KM
75 DB	18,89 KM
70 DB	20,23 KM
65 DB	29,99 KM
60 DB	34,98 KM
55 DB	43,15 KM
50 DB	53,09 KM
45 DB	66,40 KM
40 DB	94,18 KM
35 DB	120,08 KM
30 DB	157,02 KM

Rys. 4. Przykład wydruku



Rys. 5. Krzywe równego natężenia pola dla Radiostacji w Żórawinie ( $P = 1 \text{ kW}$ ,  $f = 1259 \text{ kHz}$ , antena krótka)

powiadająca wartości granicznej natężenia pola (69,5 dB), pomniejszonej o moc nadajnika (20 dB) i zysk energetyczny anteny (2,6 dB), tzn. krzywa odpowiadająca poziomowi 47 dB.

#### WYKAZ LITERATURY

1. CCIR: Recommendation 368—1, New Delhi 1970.
2. CCIR: Report 230—1, New Delhi 1970.
3. Bem D.J., Surma T.: Program „ground - wave” do obliczania natężenia pola fali powierzchniowej. Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji i Akustyki. Wrocław 1974.
4. Bem D.J.: Studium porównawcze systemów antenowych dla średniofalowego obiektu nadawczego bardzo dużej mocy. Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji i Akustyki. Wrocław 1971.
5. Jasiński S., Turczyn A.: Prowizoryczna mapa skutecznej przewodności elektrycznej gruntu IŁ. Warszawa 1971.

*Д.Й. Бем, Т. Сурма*

РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННОСТИ ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ  
С ПОМОЩЬЮ СЧЁТНО-РЕШАЮЩЕГО ПРИБОРА НА ОСНОВАНИИ  
ПРОГРАММЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ  
„GROUND—WAVE”

Резюме

Рассмотрено расчёт напряжённости поля поверхностной волны, распространяемой над землей неоднородной проводимости на основании формулы Миллингтона и кривых распространения МККР.

Программа вычислений „ground-wave” способствует расчётам распределения напряжённости поля в функции расстояния при любом распределении эффективной проводимости почвы вдоль рассматриваемого тракта.

Является тоже возможным определить пункты, в которых напряжённости поля принимают определенное заданное значение.

Программа написана с применением языка АЛГОЛ 1900.

*D.J. Bem, T. Surma*

CALCULATION OF GROUND WAVE FIELD INTENSITY BY MEANS  
OF A COMPUTER AND APPLYING THE „GROUND WAVE” PROGRAM

Summary

The calculation of the ground wave field intensity over a inhomogeneous ground on the base of the Millington formula and the CCIR propagation curves has been discussed.

The „ground-wave” program permits to calculate the field intensity in function of distance irrespective of the distribution of effective conductivity along the route.

It is also possible to calculate in which points the field intensity obtains the desired values. The program is written in the ALGOL 1900 language.

*D.J. Bem, T. Surma*

CALCUL DE L'INTENSITÉ DU CHAMP DE L'ONDE DE SURFACE  
AU MOYEN D'UN ORDINATEUR ET DU PROGRAMME NOMME  
„GROUND-WAVE”

Résumé

On présente une méthode de calculer l'intensité du champ de l'onde de surface, au-dessus du sol hétérogène, au moyen d'un ordinateur, la formule de Millington et les courbes de propagation du CCIR étant prises en considération.



Le programme nommé „ground wave” permet de calculer l'intensité du champ en fonction de la distance, à la distribution quelconque des conductivités effectives le long du trajet.

Les points, dans lesquels l'intensité du champ prend des valeurs données, peuvent aussi être calculés.

Le programme est écrit dans la langue Algol 1900.

*D.J. Bem, T. Surma*

BERECHNUNG DER FELDSTÄRKE DER BODENWELLE MITTELS  
ELEKTRONISCHER RECHENMASCHINE BEI VERWENDUNG  
DES PROGRAMMS „GROUND WAVE”

Zusammenfassung

Es wurde die Berechnung der Bodenwellefeldstärke über ungleichmäßigem Gelände bei Verwendung elektronischer Rechenmaschine auf Grund der Millington-Formel und CCIR-Ausbreitungskurven besprochen. Das Programm „ground wave” ermöglicht die Berechnung des Feldstärkeganges in der Funktion der Entfernung bei beliebiger Verteilung der Leitfähigkeit der Strecke.

Es ist auch möglich, die Punkte zu berechnen, in denen die Feldstärke die vorgegebenen Werte einnimmt. Das Programm ist in der ALGOL 1900 Sprache geschrieben.

*Jan Bogucki*

621.396.62:621.391.812.62

## UKŁAD ODBIORCZY DO BADAŃ PROPAGACJI TROPOSFERYCZNEJ NA TRASACH POZAHORYZONTALNYCH

Rękopis dostarczono do Komitetu Redakcyjnego dnia 19.XII. 1974 r.

Artykuł zawiera opis metody umożliwiającej popraw parametrów urządzeń odbiorczych do badania propagacji troposferycznej drogą zastosowania przemiany częstotliwości za pomocą dodatkowej heterodyny i układu do rozdziału kanałów.

Tą drogą uzyskuje się zwiększenie czułości urządzeń odbiorczych, odporności urządzeń na zakłócenia, a także możliwość odbioru jednym odbiornikiem kilku sygnałów, przy zapewnieniu automatycznej regulacji częstotliwości, wykorzystywanej przez odbiornik.

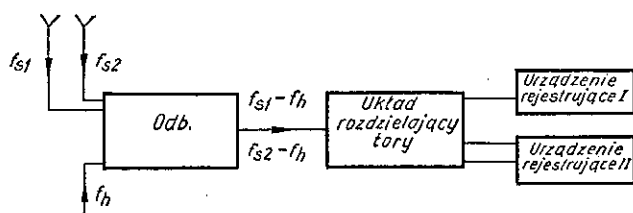
### 1. WSTĘP

Odbiornik przeznaczony do celów badawczych propagacji troposferycznej na trasach pozahoryzontalnych powinien charakteryzować się bardzo dobrymi parametrami, zwłaszcza zaś dobrą czułością, gdyż indukowane w antenie odbiorczej sygnały są o wartościach bliskich dolnego progu mierzalności. Poza tym nawet w czasie złej propagacji, gdy sygnał nie dociera do wejścia odbiornika, powinno działać automatyczne dostrojenie odbiornika.

Badania propagacji fal na trasach pozahoryzontalnych były realizowane w sposób następujący: w IL znajdował się układ odbiorczy, natomiast dwa stanowiska nadawcze znajdowały się w odległości 60 km i 120 km od Warszawy. Częstotliwość nośna I nadajnika wynosiła  $f_{s1} = 342,920$  MHz i była modulowana amplitudowo [1] częstotliwością 1100 Hz, drugiego  $f_{s2} = 342,930$  oraz modulowana amplitudowo częstotliwością 900 Hz. Częstotliwości nośne nadajników były stabilizowane rezonatorami kwarcowymi. Sygnały te powinny być odbierane w sposób ciągły.

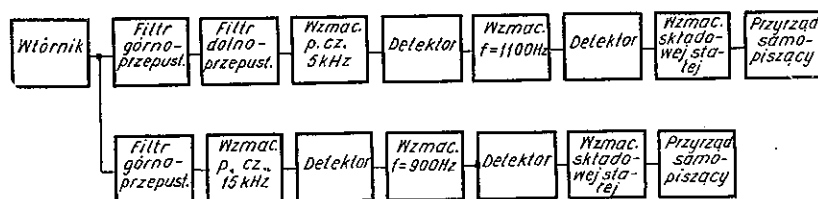
## 2. STANOWISKO ODBIORCZE

W układzie odbiorczym wykorzystano odbiornik profesjonalny f. Rohdego i Schwarza (mikrowoltomierz selektywny typu ESU lub SMV) (rys. 1) [2].



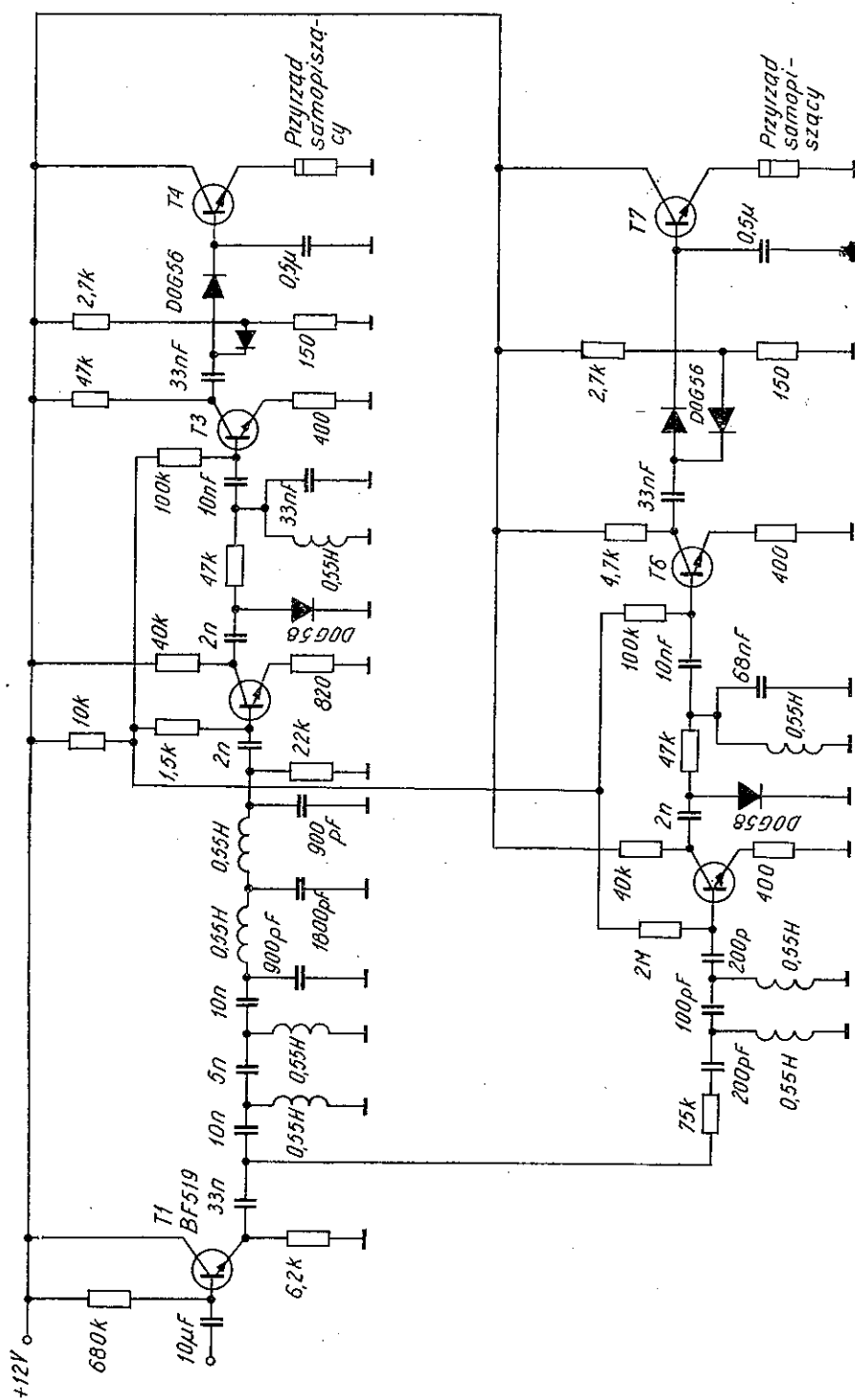
Rys. 1. Stanowisko odbiorcze

Do wejścia odbiornika oprócz dwóch sygnałów pomiarowych jest doprowadzany sygnał heterodyny. Częstotliwość heterodyny  $f_h$  wynosi 342,915 MHz. W odbiorniku Rohdego i Schwarza następuje zmieszanie sygnałów wejściowych z częstotliwością dostarczoną przez pierwszy oscylator, którego częstotliwość jest większa o 76 MHz



Rys. 2. Schemat blokowy układu rozdzielającego tory

od częstotliwości sygnałów wejściowych — w wyniku otrzymujemy I częstotliwość pośrednią równą 76 MHz. Drugi oscylator odbiornika, którego częstotliwość wynosi 97,4 MHz, obniża w wyniku mieszania częstotliwość 76 MHz na drugą częstotliwość pośrednią 21,4 MHz. Szerokość pasma wzmacniacza pośredniej częstotliwości wynosi  $\pm 60$  kHz. W następnym stopniu mieszającym otrzymuje się trzecią częstotliwość pośrednią 2 MHz. Następnie 3 sygnały wynikające z dodatkowego heterodynowania są doprowadzone do detektora odbiornika, który w tym przypadku pracuje jako mieszacz częstotliwości heterodyny i sygnałów. W wyniku przemiany otrzymujemy użyteczne dla nas produkty  $(f_{s1} - f_h)$  oraz  $(f_{s2} - f_h)$ . Sygnały te o częstotliwości 5 kHz i 15 kHz modulowane amplitudowo można już w łatwy sposób wydzielić, wzmacnić, poddać detekcji, co jest zrealizowane w układzie rozdzielającym tory.



Rys. 3. Układ rozdzielający tory — schemat ideowy

### 3. UKŁAD ROZDZIELAJĄCY TORY

Na wejściu układu zastosowano wtórnik, dzięki czemu uzyskano impedancję wejściową układu ok. 300 k $\Omega$  (rys. 3). W celu rozdzielenia częstotliwościowego torów zastosowano 2 filtry górnoprzepustowe [3] oraz filtr dolnoprzepustowy. Dzięki zastosowaniu filtrów otrzymano odpowiednio ukształtowane charakterystyki przenoszenia torów i tłumienia pasma zaporowego. Następnie sygnały są wzmacniane [4] ok. 30 dB, po czym zdetektowane, wzmacniane i przetwarzane na składową stałą. Poziom składowej stałej jest rejestrowany przez przyrządy samopiszące.

### 4. WNIOSKI

- a) Dzięki zastosowaniu dodatkowego heterodynowania uzyskano nowe częstotliwości pośrednie 5 kHz i 15 kHz. Umożliwiło to zastosowanie układu rozdzielającego tory. Odbiornik pomiarowy wraz z tym układem umożliwia odbiór sygnałów już o napięciu 0,2  $\mu$ V. Jest to 14 dB poprawa czułości odbiornika (sam odbiornik umożliwia odbiór sygnałów o minimalnej wartości rzędu 1  $\mu$ V).
- b) Odbiornik z dodatkowym heterodynowaniem sygnałów jest bardzo odporny na zakłócenia, gdyż charakteryzuje się on dobrą selektywnością, np. odstrojenie o 20 Hz częstotliwości modulującej (1100 hercami lub 900 hercami) powoduje wzrost tłumienia sygnału o kilkanaście dB.
- c) Odbiór dwóch sygnałów jest możliwy przez jeden odbiornik, gdyż różnica w poziomach nawet o 30 dB odbieranych sygnałów zapewnia poprawną pracę układu odbiorczego (co byłoby niemożliwe bez zastosowania układu rozdzielającego tory).
- d) W odbiorniku z dodatkowym heterodynowaniem sygnałów dość ważną rzeczą jest również to, że przez cały czas pracy układu odbiorczego działa jego automatyczna regulacja częstotliwości. W warunkach np. złej propagacji sygnały mogą nie docierać do wejścia odbiornika, a mimo to automatyczne dostrojenie będzie działało, gdyż na wejściu odbiornika zawsze jest doprowadzony sygnał dodatkowej heterodyny.
- e) Zmiana parametrów odbiornika w jednakowy sposób wpływa na odbiór sygnałów  $f_{s1}$  i  $f_{s2}$ .

### WYKAZ LITERATURY

1. Hahn S.: Podstawy radiokomunikacji. WKŁ. Warszawa 1964.
2. Instrukcja: „Miernik natężenia pola na zakres fal metrowych i decymetrowych 25–900 MHz”. Typ ESU Rohde i Schwarz. Warszawa 1966.

3. *Dudziwicz J.*: Podstawy telekomunikacji. WNT Warszawa.
4. *Golde W.*: Układy tranzystorowe wzmacniacza małej częstotliwości. PWT. Warszawa 1961.
5. Instrukcja Techniczna: Nadajnik pomiarowy typ NP50/340/1. IL. Warszawa 1963.

*Ян Бозуцки*

### СХЕМА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТРОПОСФЕРНОЙ ПРОПАГАЦИИ НА ТРАССАХ ТРАНСГОРИЗОНТНОЙ ДАЛЬНОСТИ

#### Резюме

В статье описано метод позволяющий улучшить параметры приёмных измерительных устройств для испытаний тропосферной пропагации, путём применения перемены частоты с помощью добавочного гетеродина и схемы разделения каналов, вследствие чего возникает увеличение чувствительности и помехозащищённости приёма и возможность одновременного приёма одним приёмником больше одного сигнала при обеспечении автоматической регуляции используемой приёмником частоты.

*Jan Bogucki*

### A DEVICE FOR MEASURING TROPOSPHERICAL PROPAGATION IN TRANSHORIZONTAL RANGE

#### Summary

The paper deals with a method of improving the parameters of the receiving device for testing tropospheric propagation by applying frequency translation by means of an additional heterodyne and a system for dividing the signal channels.

In this way an increase of the receiver sensitivity and of the signal to noise ratio is obtained as well as a possibility of obtaining in one receiver more than one signal at the same time and of securing in the receiver -- in any case -- the automatically regulated frequency.

*Jan Bogucki*

### SCHEME DU DISPOSITIF A MESURER LA PROPAGATION TROPOSPHERIQUE SUR LES TRACES TRANSHORIZONTAUX

#### Résumé

Dans l'article on présente une méthode qui permet d'améliorer les paramètres du récepteur des signaux provenant de la propagation troposphérique.

La méthode consiste a transposer la fréquence au moyen d'une hétérodyne additionnelle et à partager les signaux en canaux différents par un schème spécial.

Il en résulte une augmentation de sensibilité du récepteur et d'affaiblissement des perturbations, ainsi que la possibilité de recevoir simultanément plusieurs signaux dans un seul récepteur, la régulation automatique de la fréquence utilisée par le récepteur étant assurée dans tous les deux cas.

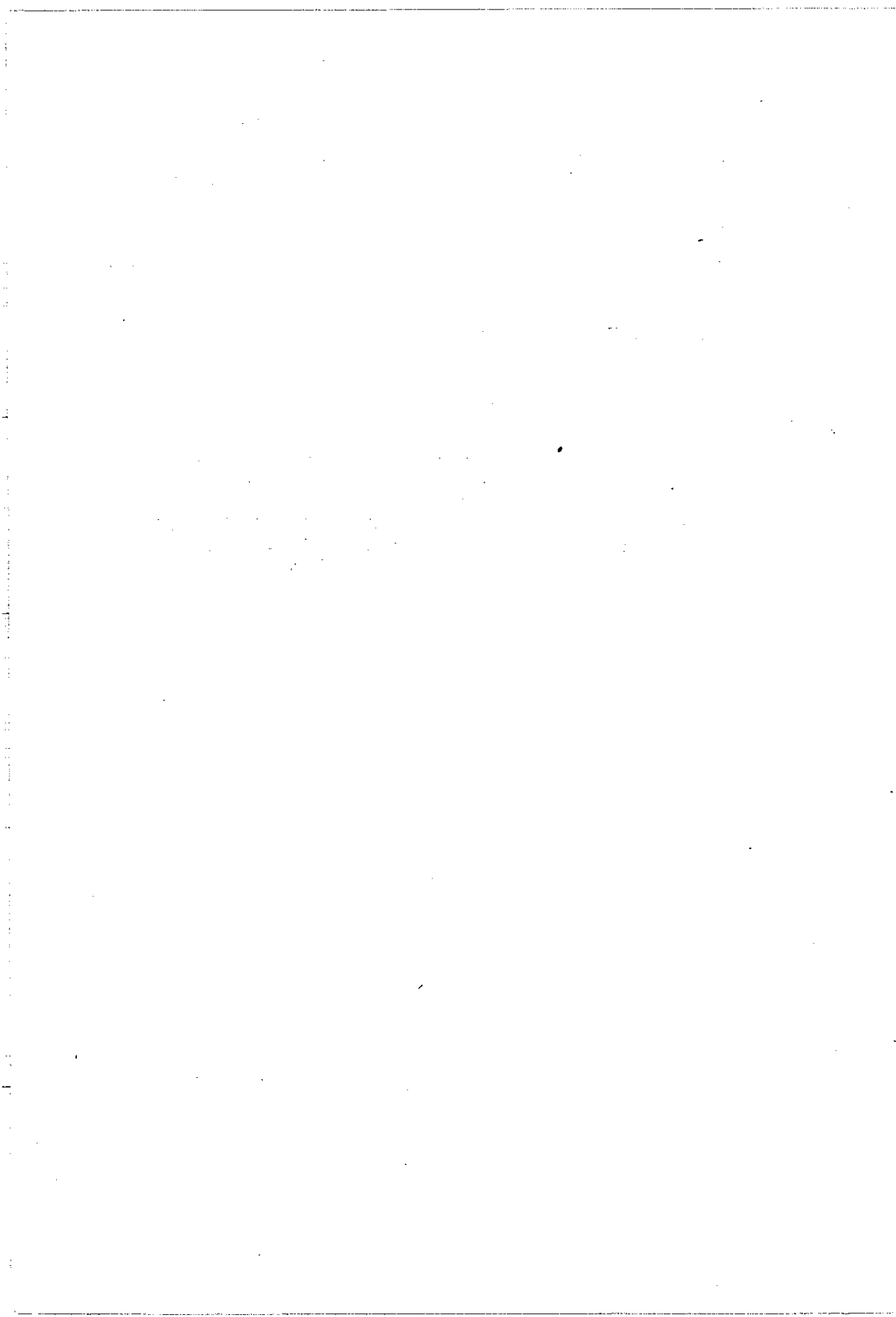
*Jan Bogucki*

#### SCHEMA DER EINRICHTUNG ZUR PRÜFUNG DER TROPOSPHÄRISCHEN AUSBREITUNG AUF ÜBERHORIZONTSTRECKEN

##### Zusammenfassung

Der Artikel enthält die Beschreibung der Methode, die Verbesserung der Empfangseinrichtungen zur Prüfung troposphärischen Ausbreitung ermöglicht, durch Verwendung der zusätzlichen Frequenzwandlung und Schaltung für Kanalverteilung.

Damit erreicht man die Vergrößerung der Empfindlichkeit und Störfestigkeit der Empfangseinrichtungen wie auch die Empfangsmöglichkeit einiger Signale mittels eines Empfängers bei Versicherung der im Empfänger benutzten automatischen Frequenzregelung.





## AUTORZY



Mgr inż. *Edward Żernicki*, urodzony w 1933 r., studia stopnia pierwszego ukończył na Wydziale Łączności Politechniki Wrocławskiej w 1958 r., a stopnia drugiego na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej w 1974 r. Pracownik Stacji Radiowych i Telewizyjnych we Wrocławiu oraz Instytutu Łączności Oddział we Wrocławiu, gdzie kieruje samodzielną pracownią naukowo-badawczą LALKOP. Specjalizuje się w dziedzinie pomiarów przestrzennych charakterystyk promieniowania anten. Posiada uprawnienia i doświadczenie w zakresie lotniczych urządzeń radionawigacyjnych. Jest autorem wielu rozwiązań koncepcyjnych i praktycznych.



Mgr *Tadeusz Surma*, urodzony 9 lipca 1949 r., ukończył studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego w roku 1972, specjalizując się w metodach numerycznych. Od roku 1972 pracuje w Centrum Obliczeniowym Politechniki Wrocławskiej. Obecnie jest członkiem zespołu wdrażającego system operacyjny GEORGE 3 w ramach Wielodostępnego Abonenckiego Systemu Cyfrowego.



Inż. *Jan Bogucki* urodził się 19 lutego 1947 r. w Warszawie. Studia ukończył w 1972 r. na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej, otrzymując tytuł inżyniera ze specjalnością radio-komunikacja. Po studiach pracował w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacyjnym w Zakładzie Techniki Mikrofalowej na stanowisku asystenta. Obecnie pracuje w Instytucie Łączności w Zakładzie Propagacji Fal na stanowisku inżyniera i zajmuje się opracowaniami mikrofalowej aparatury pomiarowej.

Notka bibliograficzna dra inż. Daniela Bema była zamieszczona w nr. 1(69) 1973 r. Prac IŁ.

**WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI I ŁĄCZNOŚCI — WARSZAWA 1975**

Wydanie pierwsze. Nakład 550+60 egz. Ark. wyd. 2,6. Ark. druk. 3,0. Oddano do składania w czerwcu 1975 r. Podpisano do druku w październiku 1975 r. Druku ukończono w listopadzie 1975 r. Papier druk. sat. kl. V, 70 g, 70 × 100. Zam. P/82/75 Indeks 37002

**POZNAŃSKIE ZAKŁADY GRAFICZNE IM. M. KASPRZAKA 2040/75-B-95/906**